



Universitat Politècnica
de Catalunya



Escola Tècnica Superior
d'Arquitectura del Vallès

MISMeC MÀSTER UNIVERSITARI EN
INTERVENCIÓ SOSTENIBLE
EN EL MEDI CONSTRUÏT

TRABAJO FIN DE MASTER

Curso 2019-2020

Convivir con el agua.

Análisis de la viabilidad de los sistemas urbanos de drenaje sostenible en Marruecos.

Autor

Zakaria Aazouzi

Tutores:

D. Albert Cuchí Burgos
D^a. Elena Albareda Fernández

Septiembre de 2020

Resumen

En los últimos años hemos asistido al auge de los denominadas sistemas urbanos de drenaje sostenible (SuDS). Estas técnicas alternativas de gestión del agua de lluvia están empezando a competir seriamente con las llamadas técnicas convencionales.

Muchos países del mundo han realizado proyectos de SuDS, Sin embargo la existencia de estas técnicas en Marruecos es casi nula. Un análisis crítico de la situación puede plantear algunas preguntas sobre la relevancia del uso de estos sistemas en Marruecos, si su rendimiento es suficiente y si realmente son menos costosas.

Así, este trabajo intenta resolver estas dudas, haciendo una presentación de los SuDS, las condiciones de su uso y las experiencias internacionales. Con el fin de sacar conclusiones pertinentes, se ha escogido, como caso de estudio, el barrio de “Zerarda”. El objetivo dar lugar a una reflexión profunda para orientar a los actores del agua en general, y a las consultorías en particular, hacia un cambio de estrategias en la gestión del agua.

Abstract

In recent years we have witnessed the rise of the so-called urban sustainable drainage systems (SuDS). These alternative rainwater management techniques are starting to seriously compete with the conventional techniques.

Many countries in the world have executed SuDS projects; however these techniques are almost inexistent in Morocco. A critical analysis of the situation can raise some questions about the relevance of the use of these systems in Morocco, if their performance is sufficient and if they really are less expensive.

Thus, this work tries to resolve these doubts, making a presentation of the SuDS, the conditions of its use and international experiences. In order to draw pertinent conclusions, the neighborhood of “Zerarda” has been chosen as a case study. The objective is to give rise to a deep reflection to guide water stakeholders in general, and consultancies in particular, towards a change in strategies in water management.

Índice

Introducción	1
1. Justificación del estudio y objetivo	1
2. Gestión del agua en Marruecos (Problema del alcantarillado convencional)	2
3. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)	3
3.1. El concepto de los SUDS	3
3.2. Historia de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	4
3.3. Tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	5
3.3.1. Captación de agua de lluvia (Rainwater harvesting)	5
3.3.2. Cubiertas vegetadas (Green-roofs)	7
3.3.3. Sistemas de infiltración (infiltration systems)	9
3.3.4. Sistemas de tratamiento (Proprietary treatment systems)	12
3.3.5. Franjas Filtrantes (Filter Strips)	17
3.3.6. Drenes Filtrantes (Filter Drains)	17
3.3.7. Cunetas Verdes o Vegetadas (Swales)	18
3.3.8. Sistemas de Biorretención (Bioretention Systems)	20
3.3.9. Árboles (Trees)	22
3.3.10. Superficies Permeables (Pervious pavements)	24
3.3.11. Estanques de Retención (Attenuation storage tanks)	24
3.3.12. Depósitos de Detención (Detention Basins)	25
3.3.13. Humedales (wetlands)	26
3.4. Experiencias internacionales en la aplicación de SuDS	28

3.5. La aplicación de los SUDS en España	29
4. Caso de estudio: Barrio de Zerarda Marruecos	30
4.1. Características de la zona	32
4.1.1 El clima	32
4.1.2 Pluviometría	33
4.1.3 Geología	34
4.1.4 Hidrología	34
4.2. Estudio hidráulico	36
4.3. Análisis del potencial del terreno	37
4.4. Selección de las técnicas apropiadas	38
4.4.1. Matriz de selección en función de las características físicas del lugar.....	38
4.4.2. Matriz de selección en función de los usos del suelo.....	40
4.4.3. Matriz de selección en función del rendimiento en el control de la cantidad y calidad del agua	41
4.4.4. Matriz de selección en función de factores ambientales y sociales.....	43
4.5. Propuesta de proyecto	43
4.6. Rentabilidad económica	48
Conclusiones	52
Bibliografía	54

Introducción

El desarrollo de la vivienda individual y las grandes áreas residenciales están provocando un aumento considerable de la urbanización y las superficies impermeabilizadas. Este crecimiento revela los límites de las redes de drenaje, sus estructuras y la gestión de los flujos hidráulicos. Los desbordamientos de la red son cada vez más importantes. Ante la expansión de los entornos urbanos y los retos que plantean actualmente las amenazas climáticas, se necesita un nuevo enfoque como la gestión del agua de lluvia mediante una técnica alternativa sostenible.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SuDS) son todas aquellas técnicas cuyo concepto se opone al principio del alcantarillado convencional. Su objetivo no es evacuar el agua lo más lejos y lo más rápido posible, sino retrasarla y / o infiltrarla. Se pueden utilizar de forma autónoma, es decir, sin red de tuberías, o se pueden combinar con una red de aguas pluviales convencional.

Los SuDS permiten controlar tanto los caudales máximos de escorrentía urbana como la calidad del agua vertida al medio ambiente. Estas tecnologías se han aplicado recientemente, siendo más avanzadas en países como Estados Unidos o Reino Unido. Sin embargo, otros países los van integrando en los nuevos proyectos urbanísticos. Dada su casi inexistencia en Marruecos, me pareció interesante profundizar en el conocimiento de estas técnicas y planificar un estudio introductorio de estas técnicas de drenaje urbano sostenible proponiendo un proyecto alternativo en barrio real de Marruecos.

1. Justificación del estudio y objetivo

Actualmente en muchas localidades marroquíes no existe una gestión adecuada del agua de lluvia. El hecho de que no se vierta al alcantarillado unitario, ofrece una oportunidad de intervenir mediante una estrategia sostenibilista gracias a las técnicas SUDS.

De hecho en Marruecos, el marco legal establecido para el agua está reunido en la Ley n ° 36-15 de 10 de agosto de 2016 sobre agua. Uno de los objetivos principales es el fortalecimiento de la protección del medio ambiente.

Los artículos 63 y 64 de la dicha ley regulan la puesta en valor y el uso de agua de lluvia. La administración pública ofrece ayudas financieras y técnicas a cualquier persona física o moral, de conformidad con lo dispuesto en estos artículos, para

emprender en la realización de trabajos para el uso y/o la puesta en valor del agua de lluvia.

Ya que al nivel mundial existen sistemas SUDS exitosos que permiten su replicabilidad en Marruecos, y cómo el MISMeC me ofrece las herramientas metodológicas e instrumentales para hacerlo, el resultado de este TFM abrirá la puerta para un uso amplio de los dichos métodos en Marruecos. Algo en lo cual tengo intención de participar haciendo estudios de este tipo en mi consultoría personal.

Dicho esto, el objetivo de este trabajo es: Demostrar, con un estudio convincente, la rentabilidad en la implementación de los sistemas SUDS en Marruecos, tanto a nivel económico como ecológico.

2. Gestión del agua en Marruecos (Problema del alcantarillado convencional)

En Marruecos, como en muchos otros países del mundo, el sistema de drenaje urbano utilizado es el alcantarillado convencional. Los problemas del sistema tradicional se pueden clasificar en tres categorías:

Primero la cantidad, que es lo más conocido de todos, ya que su impacto es visible en el momento en que surge.

Segundo los problemas ligados a la calidad del agua. No se pueden detectar a simple vista, y su daño se manifiesta a largo plazo, algo que puede alterar ecosistemas enteros. Esto a pesar de los esfuerzos que se hacen para tratar el agua.

Finalmente, el servicio prestado a los ciudadanos se ve afectado por los dos problemas anteriores. Estos últimos causan un impacto negativo en la circulación, daños materiales, pérdida de confort, distorsión del entorno, falta de estética, etc.

Las soluciones propuestas para el problema del funcionamiento de los sistemas de drenaje convencionales siempre se han centrado en cuestiones de cantidad y de asegurar el servicio. Estas dos son las que afectan a la ciudadanía de forma más directa. Por tanto, siempre se ha descuidado el aspecto de la calidad, debido a la implementación de soluciones estructurales. Las alternativas propuestas se enfocaron en la construcción de grandes tanques de almacenamiento para las aguas pluviales y en incrementar los diámetros de diseño de las redes.

Estas soluciones son válidas pero solo solucionan una parte del problema global. El crecimiento urbano y el aumento del volumen de agua de lluvia durante las tormentas,

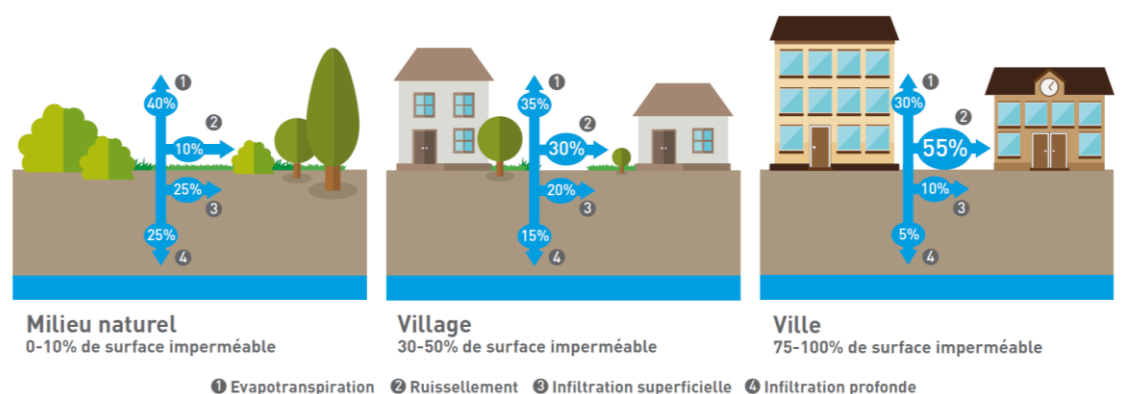
necesita un planeamiento sostenible, con soluciones naturales que no incluyen la construcción de estructuras masivas de hormigón armado, que además de todos los problemas anteriores mencionados, la cantidad de dióxido de carbono que emitan es enorme.

Por ello es necesario un análisis integral del problema, considerando el ciclo del agua en su conjunto y la gestión de agua de lluvia debe prever un cierre del ciclo.

3. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

3.1. El concepto de los SUDS

Los sistemas de drenaje urbano sostenible, son técnicas de saneamiento cuyo concepto se opone al del alcantarillado convencional. El objetivo ya no es evacuar la escorrentía lo más lejos y lo más rápido posible, sino retrasarla y / o infiltrarla.



Consecuencia de la impermeabilización del terreno .Fuente : SYMASOL, 2016

Este principio ha permitido restituir la plomada a procesos antiguos como el pozo de infiltración, la cuneta o zanja de drenaje, la cuenca de retención o infiltración, el depósito a pie de vivienda. Más recientemente, también se han desarrollado pavimentos con estructura de depósito y techo de almacenamiento.

Las técnicas SuDS se basan en dos principios: retención de agua para regular las tasas de flujo y limitar la contaminación de los entornos naturales y la infiltración en el suelo cuando sea posible para reducir los volúmenes de salida. Respetan las siguientes 3 fases:

- La captación de agua por infiltración directa, sin escurrimiento, a través de un material permeable para llegar a la estructura de almacenamiento,

- El almacenamiento de agua en compartimentos vacíos o en tanques llenos de material con huecos,
- Recuperación regulada a través de un desagüe o por infiltración directa en el suelo.

Estas técnicas también tienen otras ventajas, como la alimentación de aguas subterráneas o la creación de espacios verdes. Correctamente diseñados y adaptados al régimen de lluvias que les atañe, ayudan a potenciar los espacios urbanos donde se ubican, reintegrando parte del ciclo del agua de la ciudad.

La implementación de técnicas alternativas puede realizarse tanto en el dominio público como en hogares privados.

3.2. Historia de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Los sistemas de drenaje en las ciudades antiguas fueron diseñados hace más de 5000 años. Estos sistemas de drenaje se centraron principalmente en reducir las molestias causadas por las inundaciones localizadas y las aguas residuales. Los sistemas rudimentarios hechos de canales de ladrillo o piedra constituyeron el alcance de las tecnologías de drenaje urbano durante siglos. Las ciudades de la antigua Roma también emplearon sistemas de drenaje para proteger las áreas bajas del exceso de lluvia. Cuando los constructores comenzaron a construir acueductos para importar agua dulce a las ciudades, los sistemas de drenaje urbano se integraron en la infraestructura de suministro de agua por primera vez como un ciclo unificado de agua urbana.

Los sistemas de drenaje modernos no aparecieron hasta el siglo XIX en Europa occidental, aunque la mayoría de estos sistemas se construyeron principalmente para tratar problemas de alcantarillado derivados de la rápida urbanización. Un ejemplo de ello es el del sistema de alcantarillado de Londres, que fue construido para combatir la contaminación masiva del río Támesis. En ese momento, el río Támesis era el componente principal del sistema de drenaje de Londres, y los desechos humanos se concentraban en las aguas adyacentes al centro urbano densamente poblado. Como resultado, varias epidemias plagaron a los residentes de Londres. La preocupación por la salud pública y la calidad de vida lanzaron varias iniciativas, que finalmente llevaron a la creación del moderno sistema de alcantarillado de Londres diseñado por Joseph Bazalgette. Este nuevo sistema tenía como objetivo explícito asegurar que las aguas residuales se redirigieran lo más lejos posible de las fuentes de suministro de agua para

reducir la amenaza de los agentes patógenos transmitidos por el agua. Desde entonces, la mayoría de los sistemas de drenaje urbano han tenido como objetivos similares la prevención de crisis de salud pública.

En las últimas décadas, a medida que el cambio climático y las inundaciones urbanas se han convertido en desafíos cada vez más urgentes, los sistemas de drenaje diseñados específicamente para la sostenibilidad ambiental se han vuelto más populares tanto en la academia como en la práctica. El primer sistema de drenaje sostenible que utilizó un tren de gestión completa, incluido el control de la fuente en el Reino Unido, fue la estación de autopista de servicios de Oxford diseñada por los especialistas de SuDS Robert Bray Associates. Originalmente, el término SUDS describía el enfoque del Reino Unido para los sistemas de drenaje urbano sostenible. Es posible que estos desarrollos no se encuentren necesariamente en áreas "urbanas" y, por lo tanto, la parte "urbana" de SuDS ahora generalmente se descarta para reducir la confusión. Otros países cuentan con enfoques similares que utilizan una terminología diferente, como best management practice (BMP) y low-impact development (LID) en los Estados Unidos, y water-sensitive urban design (WSUD) en Australia. (Charlesworth, Sanudo-Fontaneda, Mays, 2018)

3.3. Tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

3.3.1. Captación de agua de lluvia (Rainwater harvesting)

Se trata de recolectar el agua de escorrentía de los techos y otras áreas impermeables, almacenarla, y tratarla cuando sea necesario y luego utilizarla para suministro de aguas domésticas, comerciales, industriales, etc. Este sistema tiene una serie de beneficios clave:

- satisfacer parte de la demanda de agua del edificio.
- ayudar a reducir el volumen de escorrentía de un sitio.
- ayudar a reducir el volumen de almacenamiento de atenuación requerido en el sitio.

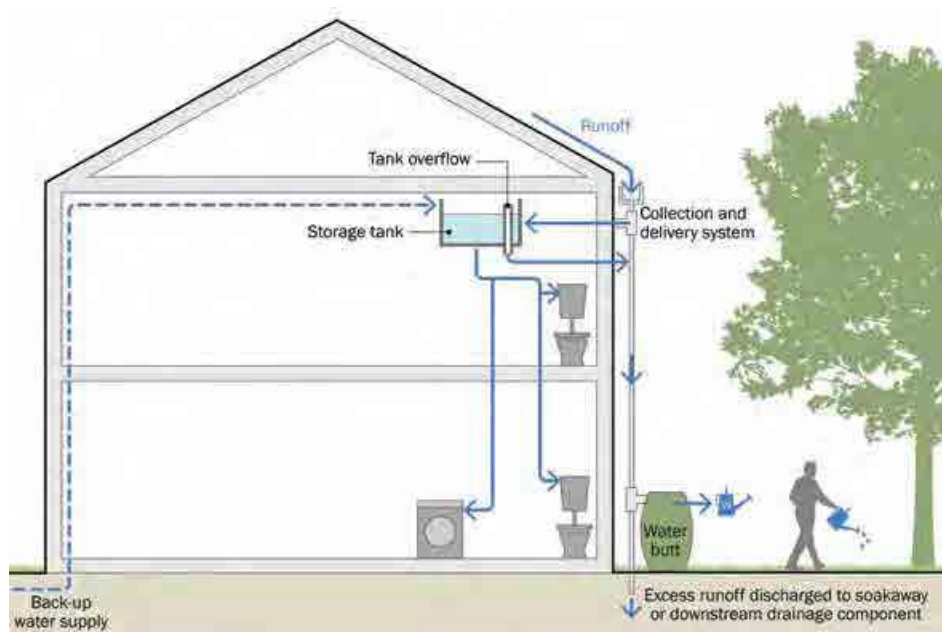
Cuando la escorrentía proviene de áreas traficadas, el potencial de recolección dependerá del uso propuesto del agua, el grado de contaminación y el tratamiento proporcionado. El agua recolectada generalmente se puede usar para una variedad de propósitos no potables, como inodoros, lavadoras y para usos externos como lavado de

autos y riego. Estos sistemas rara vez se utilizan para proporcionar agua potable para el consumo o el baño, ya que esto requiere un tratamiento especializado para gestionar los riesgos de contaminación.

Hay tres tipos principales de sistemas de captación de agua de lluvia:

✓ sistemas con gravedad

Los sistemas con gravedad están diseñados para que el agua de lluvia sea recolectada por gravedad y almacenada en la elevación para que también pueda ser suministrada por gravedad.

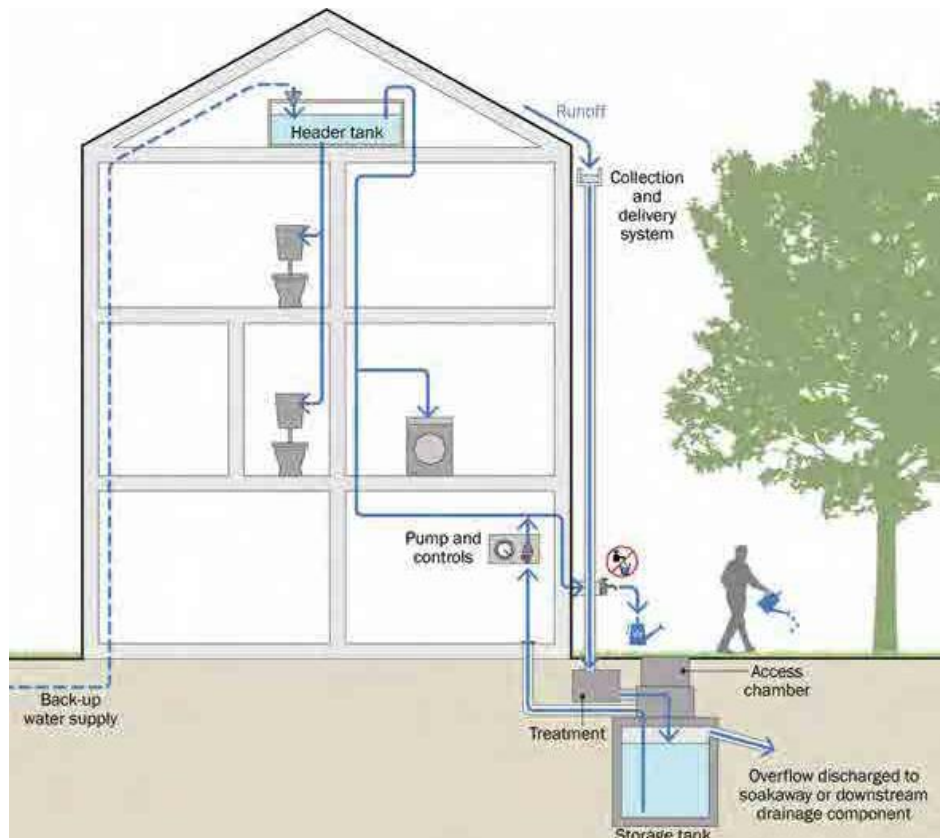


Un sistema conceptual de captación de agua de lluvia alimentado por gravedad. Fuente :
CIRIA, 2015

La principal restricción de diseño es la capacidad estructural del edificio para almacenar el agua en un lugar elevado.

✓ sistemas con bombeo

Se trata de almacenar agua bajo tierra o al nivel del suelo y luego bombearla para el suministro.



Un sistema conceptual de recolección de agua de lluvia por bombeo. Fuente : CIRIA, 2015

✓ sistemas compuestos

Estos sistemas utilizan las ventajas de ambos procesos de gravedad y de bombeo. La escorrentía recogida por gravedad se pasa directamente a un tanque de cabecera grande, mientras que el exceso de escorrentía (y la escorrentía de áreas que no pueden drenarse por gravedad al tanque de cabecera) se puede almacenar en el tanque principal en el suelo. Si y cuando el tanque de cabecera está vacío, una bomba entra en funcionamiento para llenarlo desde el tanque de almacenamiento principal. Aunque es probable que el tanque de cabecera sea mucho más pequeño que el tanque principal, la cantidad de agua que debe bombearse a menudo se reduce significativamente en comparación con un sistema completamente bombeado.

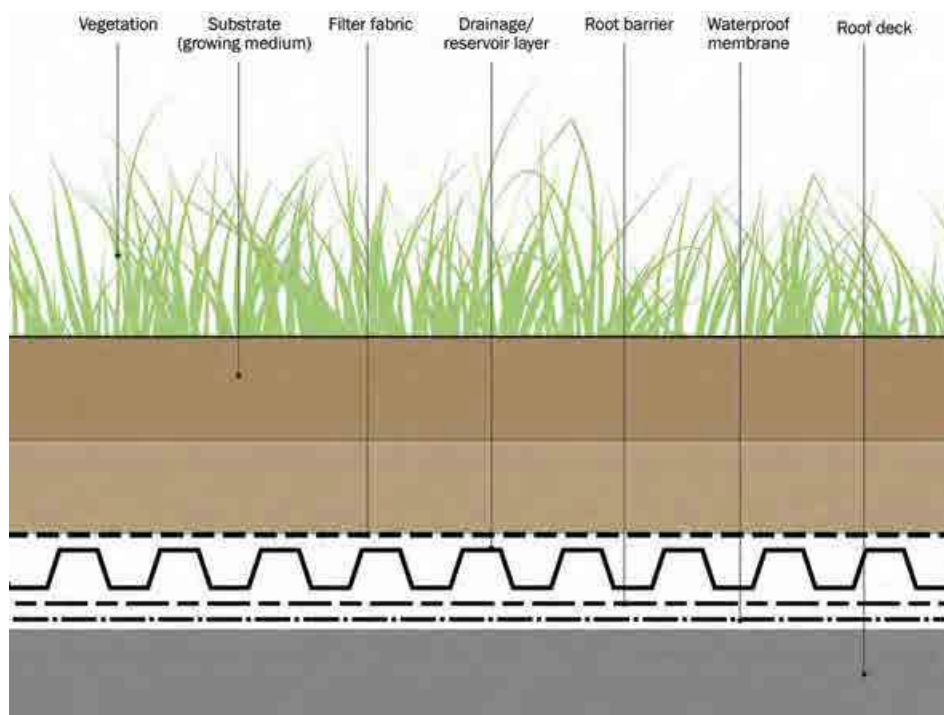
3.3.2. Cubiertas vegetadas (Green-roofs)

Los techos verdes son áreas de vegetación, instaladas en la parte superior de los edificios, por distintas razones que incluyen el beneficio visual, el valor ecológico, el

rendimiento mejorado del edificio y la reducción de la escorrentía de las aguas superficiales.

Aunque los techos verdes son generalmente más caros que los techos convencionales, pueden proporcionar muchos beneficios a largo plazo. De hecho, Los techos verdes pueden mejorar el rendimiento térmico de los edificios, reduciendo potencialmente los costos de energía del edificio, debido a que las plantas y el sustrato enfrían el techo a través de la evapotranspiración durante los meses de verano. Las propiedades de aislamiento en invierno dependen de la cantidad de agua que retiene el techo, y en inviernos húmedos, las ganancias tenderán a ser bajas. Los techos verdes ayudarán a combatir el efecto de isla de calor urbana, además de contribuir a mejorar la calidad del aire mediante la captura de partículas de polvo.

Un techo verde consiste en un sistema en el cual se colocan varios materiales en capas para lograr la cubierta vegetal y las características de drenaje deseadas. Los componentes de diseño varían según el tipo de techo verde y las limitaciones del sitio, pero generalmente incluyen los elementos que se muestran en la figura.



Sección que muestra los componentes típicos de un techo verde extensivo. Fuente :
CIRIA, 2015

Los tipos de techo verde se pueden dividir en dos categorías principales:

- ✓ Techos verdes extensivos:

Estos sistemas cubren toda el área del techo con plantas resistentes, de crecimiento lento, tolerantes a la sequía y de bajo mantenimiento, por ejemplo: musgos, suculentas... a menudo mejoradas con flores silvestres. La siembra a menudo se establece más lentamente, pero la biodiversidad a largo plazo puede ser de gran valor. Solo se accede a ellos para mantenimiento y pueden ser planos o inclinados. Los techos verdes extensivos generalmente comprenden un medio de 20-150 mm de espesor y se pueden dividir en sistemas de "capa única" (que consisten en un medio único diseñado para ser de drenaje libre y apoyar el crecimiento de las plantas), y sistemas "multicapa" que incluya tanto una capa de medio de crecimiento como una capa de drenaje subyacente separada. Son livianos y de bajo costo de mantenimiento, y se pueden usar en una amplia variedad de ubicaciones con una intervención mínima. A menudo son adecuados para la modernización de estructuras existentes debido a su peso ligero.

✓ Techos verdes intensivos (o jardines de techo):

Están diseñados para mantener entornos paisajísticos más complejos que pueden proporcionar grandes comodidades o beneficios para la biodiversidad. Están plantados con una variedad de plantas que incluyen pastos, arbustos y / o árboles, ya sea como cobertura del suelo o dentro de macetas, y también pueden incluir elementos hidráulicos para el almacenamiento de agua de lluvia para riego. Por lo general, son fácilmente accesibles, ya que normalmente requieren un nivel bastante alto de mantenimiento regular. Los techos intensivos tienen un sustrato más profundo, con un medio superior a 150 mm, y por lo tanto imponen mayores cargas en la estructura del techo.

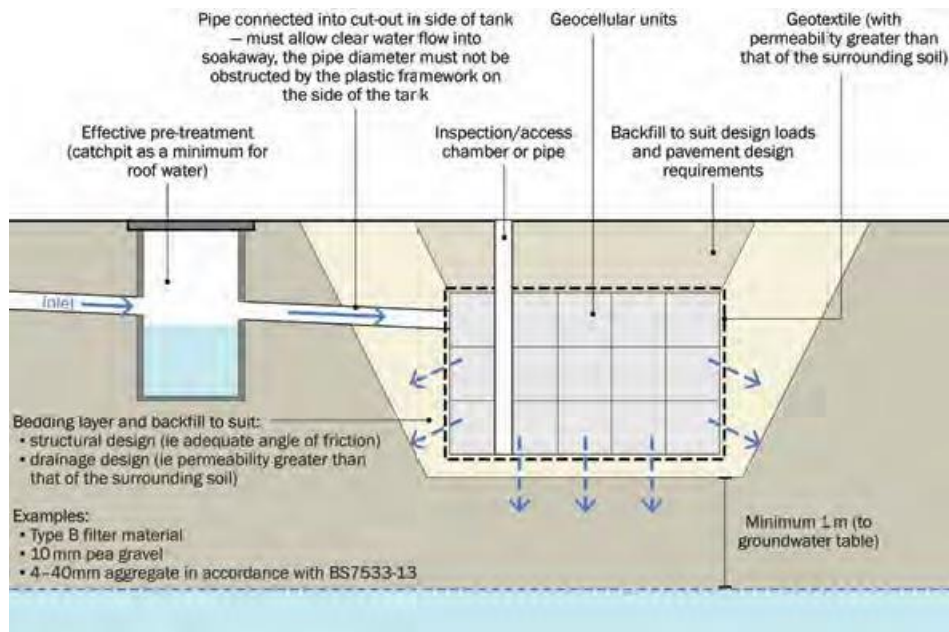
3.3.3. Sistemas de infiltración (infiltration systems)

La infiltración puede contribuir a reducir la escorrentía. La velocidad a la que se puede infiltrar el agua depende de la permeabilidad de los suelos circundantes.

Existen diferentes tipos de sistemas de drenaje que se pueden utilizar para facilitar la infiltración:

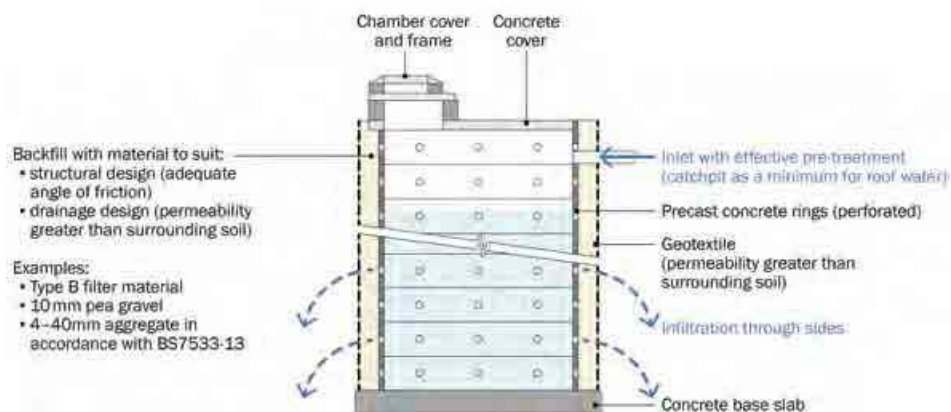
✓ Soakaways

Son excavaciones que se rellenan con un material que forma un vacío que permite el almacenamiento temporal de agua antes de que penetre en el suelo. Se utilizan unidades geocelulares disponibles en el mercado, envueltas en geotextil.



Detalles de un soakaway incluyendo un sistema de pretratamiento. Fuente : CIRIA, 2015

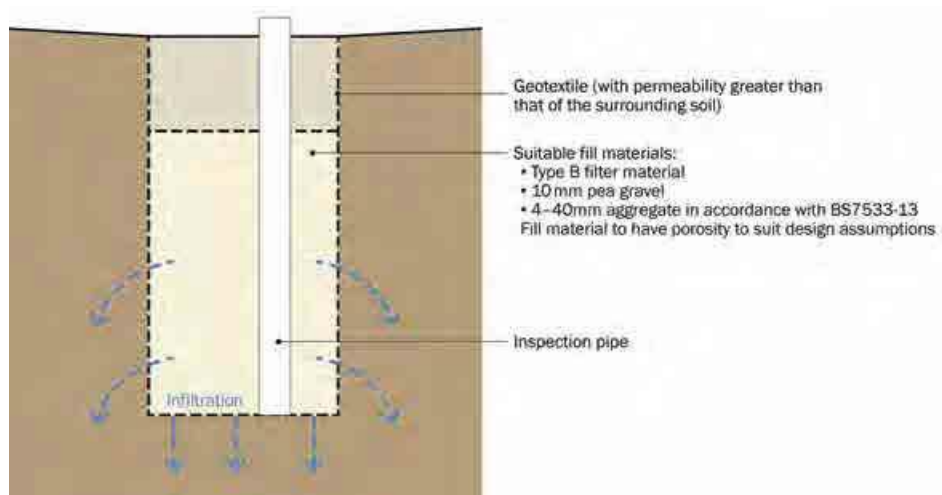
Los sumideros más grandes pueden construirse con anillos de boca de hormigón prefabricados, perforados rodeados con relleno granular o utilizando estructuras geocelulares.



Soakaways con boca de hormigón. Fuente : CIRIA, 2015

✓ Las trincheras de infiltración

Son simplemente sumideros lineales. Las ventajas de las trincheras sobre las inmersiones cuboides es que a menudo se pueden mantener menos profundas y, en suelos variables, pueden ayudar a distribuir el área de infiltración para que el impacto de las áreas menos permeables del suelo sea menos pronunciado. Se puede incluir una tubería perforada, si es necesario, para distribuir el agua a lo largo de la zanja. Los detalles se muestran en la Figura.

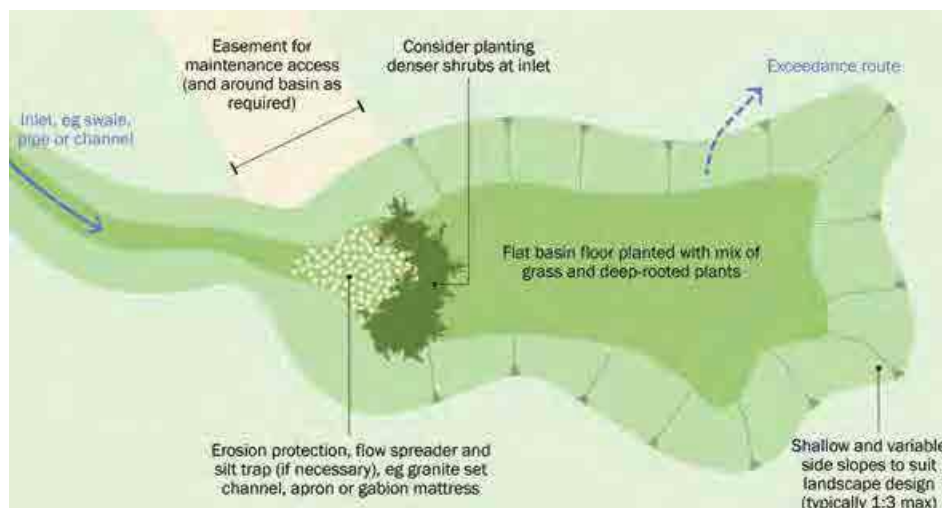


Detalles de una trinchera de infiltración. Fuente: CIRIA, 2015

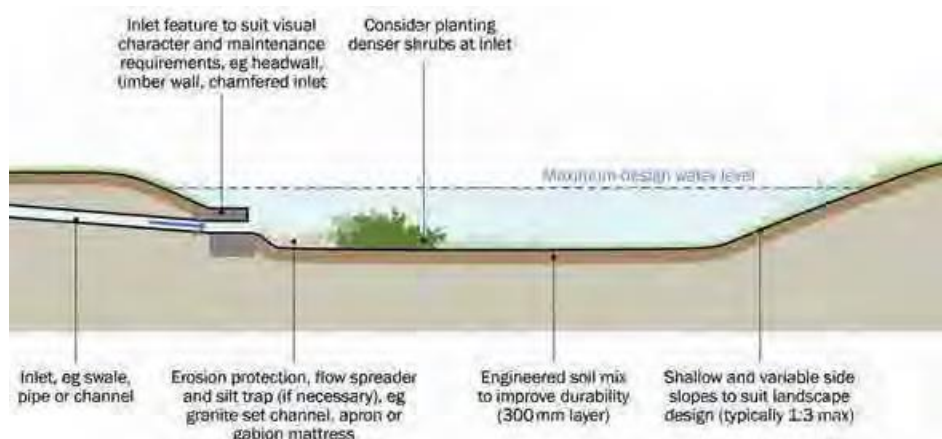
✓ Las cuencas de infiltración

Son depresiones paisajísticas poco profundas y de fondo plano, que almacenan la escorrentía, permitiendo que los contaminantes se depositen y se filtren, antes de la infiltración en los suelos subterráneos.

Los esquemas para las cuencas de infiltración se muestran en las Figuras siguientes.



Vista en planta de cuenca de infiltración. Fuente: CIRIA, 2015



Vista en alzado de la cuenca de infiltración. Fuente: CIRIA, 2015

A la hora de diseño de estos sistemas hay que prevenir los siguientes problemas:

- Riesgo de inestabilidad del suelo, hundimiento o levantamiento debido a infiltración.
- Riesgo de inestabilidad de la pendiente o soliflucción debido a infiltración
- Riesgo de contaminación del agua subterránea por la movilización de contaminantes existentes en el sitio
- Riesgo de contaminación por infiltración de escorrentía de aguas superficiales contaminadas desde el sitio
- Riesgo de fuga de agua subterránea en las alcantarillas, sótanos, túneles u otras estructuras.

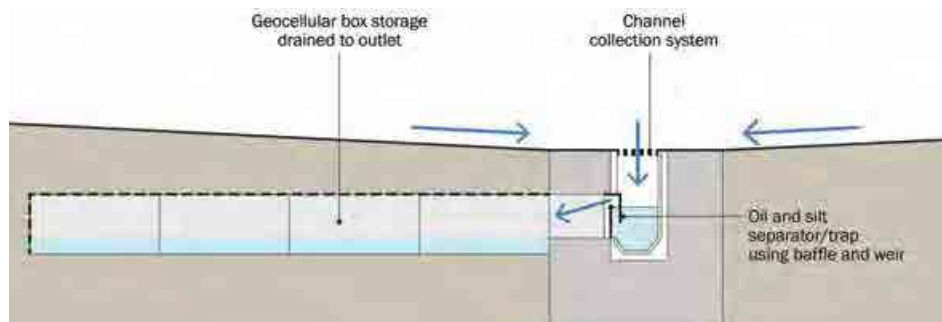
3.3.4. Sistemas de tratamiento (Proprietary treatment systems)

Los sistemas de tratamiento son productos manufacturados que eliminan contaminantes específicos de la escorrentía de aguas superficiales. A menudo son estructuras subterráneas pero a veces pueden ser complementarias de las características del paisaje. Pueden ser útiles para reducir los requisitos de mantenimiento de los SuDS.

Hay varios tipos de sistemas de tratamiento disponibles:

✓ Canales de tratamiento

Los canales de tratamiento son sistemas de drenaje superficial que se modifican para evitar o reducir el flujo de agua a lo largo de ellos. Cada sección del canal puede tener su propia salida. Los canales son un método de control de fuente y son diferentes de los canales estándar que simplemente transportan agua.



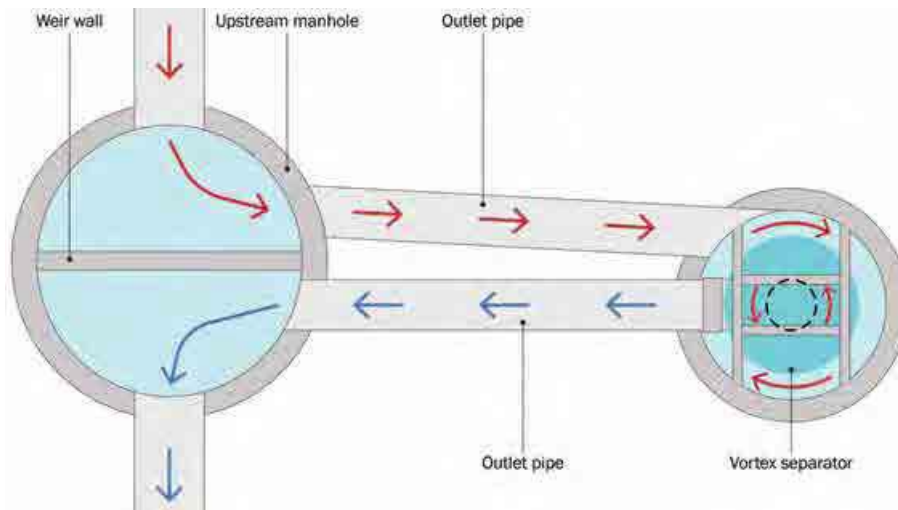
Esquema de un canal de tratamiento de uso común. Fuente: CIRIA, 2015

Actúan como recolectores de agua de superficies impermeables adyacentes y luego la almacenan antes de permitir que el agua se descargue a la siguiente parte del sistema. La clave para su uso exitoso es que deben drenar áreas relativamente pequeñas de superficie impermeable, para que los volúmenes de escorrentía y las cargas de contaminación en cualquier sección del canal sean bajos.

Hay dos tipos principales de canales de tratamiento y se diferencian por el proceso:

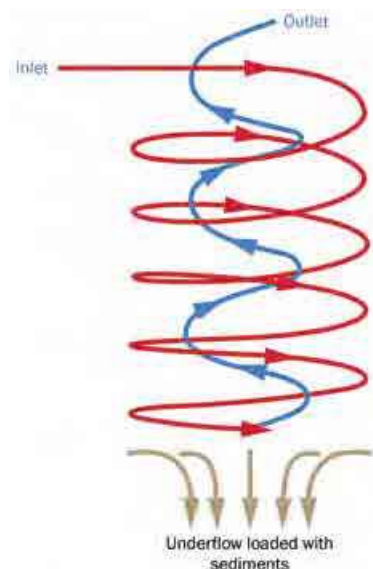
- Con la separación, los contaminantes quedan atrapados por sedimentación, es decir por gravedad. En cuanto a los materiales flotantes, como los aceites, se hace por separación física con placas deflectoras.
 - Con la filtración, los canales se llenan por el medio de un filtro para eliminar los contaminantes disueltos.
- ✓ Los separadores hidrodinámicos o de vórtice

Los separadores hidrodinámicos o de vórtice son estructuras de bóveda con una unidad de separación o separación por gravedad centrífuga para eliminar sedimentos de tamaño mediano y grande. El agua se mueve de forma circular desde la entrada a la salida, lo que facilita el proceso de eliminación de sedimentos en un espacio pequeño.



Separador hidrodinámico. Fuente: CIRIA, 2015

El movimiento circular crea un vórtice vertical en el que las fuerzas centrífugas creadas por el movimiento circular hacen que las partículas suspendidas se muevan hacia el centro del dispositivo. Las velocidades aquí son más bajas y se asientan en un sumidero en la parte inferior.



Patrón de flujo simplificado en un separador de vórtice. Fuente: CIRIA, 2015

Los separadores hidrodinámicos necesitan un mantenimiento de rutina para garantizar un funcionamiento adecuado continuo y eficiencias de eliminación de sedimentos. Por lo general, son subterráneos, por lo que el mal funcionamiento no es fácil de detectar y, por lo tanto, a menudo se ignora.

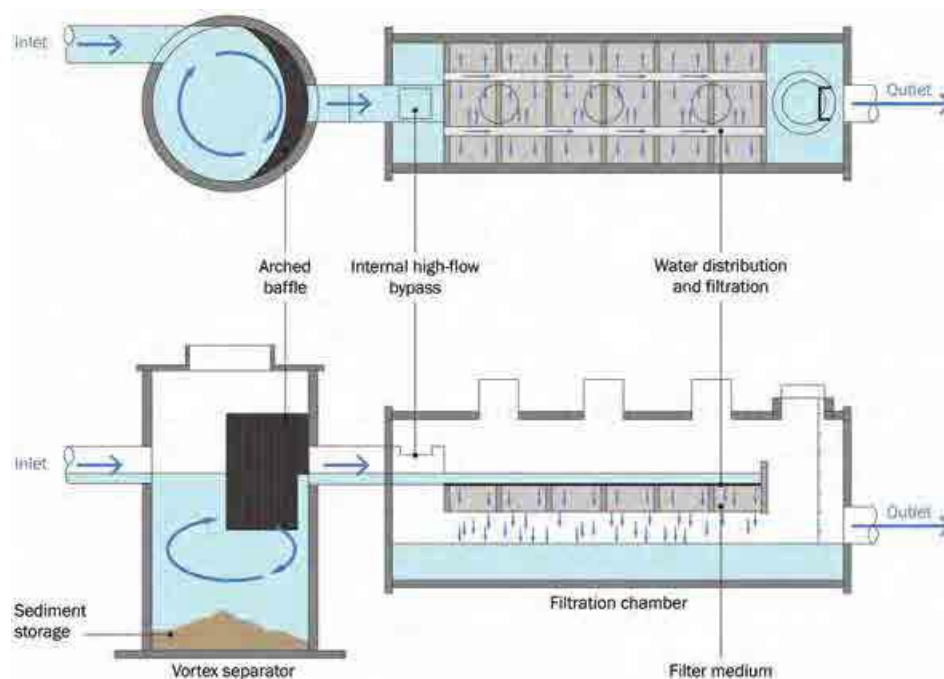
La vida útil dependerá de varios factores, incluida la vida operativa de los componentes internos y la integridad estructural a largo plazo del sistema y su cámara.

Con el mantenimiento de rutina, normalmente deberían funcionar de manera efectiva durante un período superior a 40 años.

✓ Sistemas de filtro

Los sistemas de filtro atrapan los contaminantes de la escorrentía. Son particularmente útiles para eliminar partículas pequeñas que no se pueden controlar por un proceso gravitacional único.

Los sistemas de filtración se pueden comprar como unidades estándar prefabricadas o hechas a medida para adaptarse a las condiciones del sitio. Algunos de los componentes en el mercado combinan la separación de vórtices y la filtración en línea en un sistema como en la siguiente figura.



Esquema de un sistema de sedimentación y filtración. Fuente: CIRIA, 2015

✓ Separadores de aceite

Los separadores de aceite se utilizan ampliamente para evitar que productos químicos peligrosos y productos derivados del petróleo ingresen a los cursos de agua y alcantarillas públicas. Los diseños de separadores se basan principalmente en el principio de separación por flotación, tiempo de residencia y densidad y tamaño de partículas. Los separadores por gravedad están disponibles como sistemas patentados prefabricados, pero también se pueden construir in situ.

En comparación con otros SuDS, estas instalaciones dependen en gran medida del mantenimiento frecuente para evitar la contaminación. Si esto no ocurre, la experiencia muestra que rápidamente comienzan a transmitir la contaminación a aguas abajo. La escorrentía contaminada puede hacerse visible en el desagüe a cualquier característica de la superficie, lo que advertirá que se requiere mantenimiento.

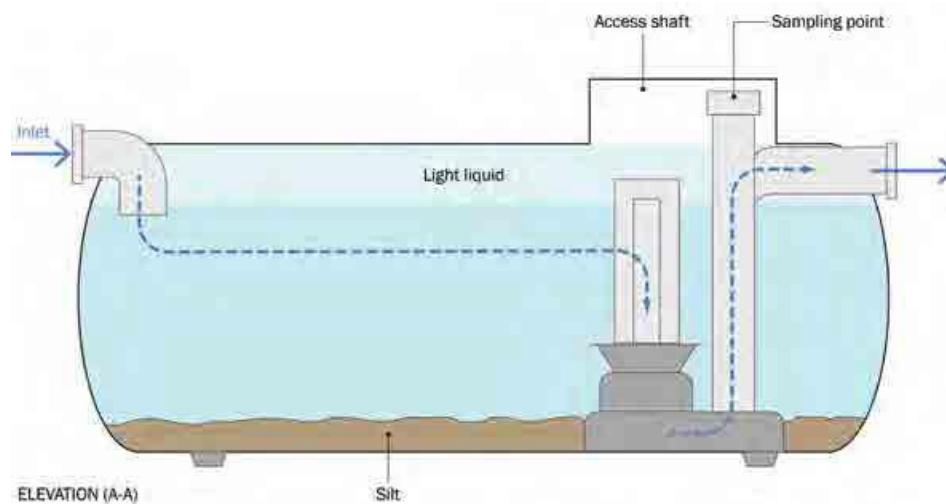


Diagrama esquemático de un separador prefabricado. Fuente: CIRIA, 2015

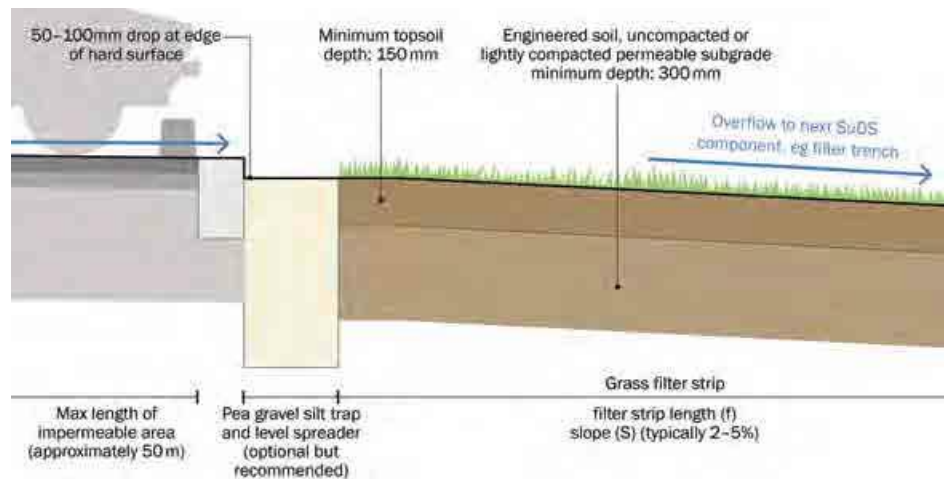
Los separadores de aceite están diseñados para un caudal específico, a diferencia de la mayoría de los otros controles estructurales, que se dimensionan en función de la captura y el tratamiento de un volumen específico. La cámara de separación debe proporcionar tres volúmenes de almacenamiento separados:

- un volumen para el almacenamiento de aceite separado en la parte superior de la cámara.
- un volumen para la acumulación de sólidos sedimentables en el fondo de la cámara.
- un volumen requerido para dar un tiempo de detención adecuado para la separación de aceite y los sedimentos de la escorrentía de las aguas superficiales.

3.3.5. Franjas Filtrantes (Filter Strips)

Las Franjas Filtrantes son tiras suavemente inclinadas, de césped u otra vegetación densa, que están diseñadas para tratar la escorrentía de áreas impermeables adyacentes promoviendo la sedimentación, filtración e infiltración.

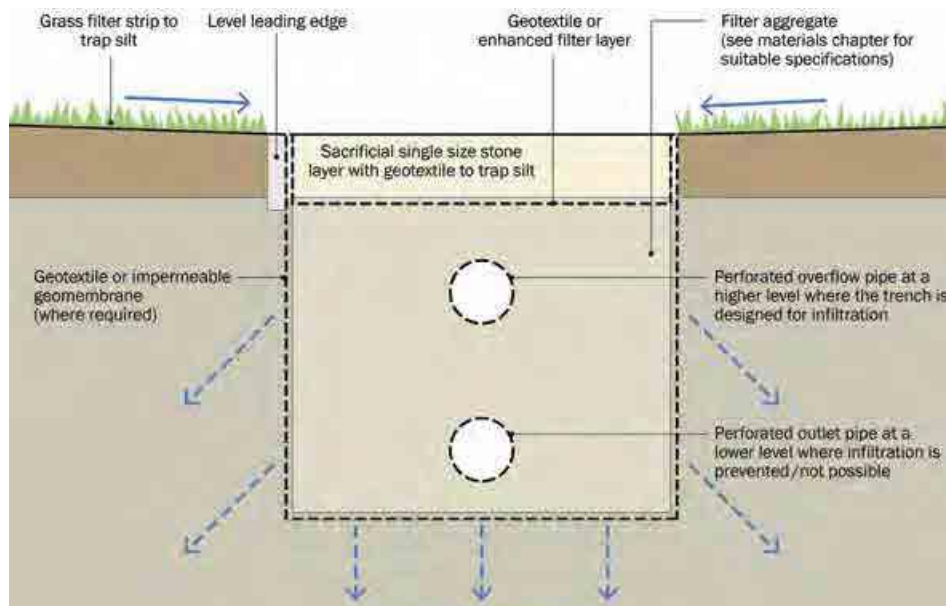
La escorrentía está diseñada para fluir como una lámina a través de la tira del filtro a velocidades suficientemente bajas para que los procesos de tratamiento puedan llevarse a cabo de manera efectiva.



Esquema de una Franja Filtrante. Fuente: CIRIA, 2015

3.3.6. Drenes Filtrantes (Filter Drains)

Los Drenes Filtrantes son zanjas poco profundas llenas de grava o piedra que crean un almacenamiento temporal bajo la superficie para la atenuación, el transporte y la filtración de la escorrentía de las aguas superficiales. La piedra puede estar contenida en una zanja simple forrada con un geotextil, geomembrana u otro revestimiento impermeable, o dentro de una instalación más estructural, como un canal de concreto.



Esquema de un Dren Filtrante. Fuente: CIRIA, 2015

Se debe proporcionar una tubería perforada cerca de la base del drenaje para recoger y transportar el agua a los componentes de drenaje aguas abajo. Se puede instalar una tubería perforada de alto nivel para proporcionar un desbordamiento de flujos que excedan el evento de diseño.

3.3.7. Cunetas Verdes o Vegetadas (Swales)

Las Cunetas Verdes son canales abiertos con vegetación. Son poco profundas, con un fondo plano, diseñadas para transportar, tratar y atenuar la escorrentía de agua superficial. Cuando se incorporan al diseño del sitio, pueden mejorar el paisaje natural y proporcionar beneficios estéticos y de biodiversidad. A menudo se utilizan para drenar carreteras, caminos o aparcamientos, donde es conveniente recolectar entradas distribuidas de escorrentía, o como un medio para transportar la escorrentía en la superficie mientras se mejoran los corredores de acceso u otros espacios abiertos. Las cunetas verdes pueden tener una variedad de perfiles, pueden ser uniformes o no uniformes y pueden incorporar una variedad de estrategias de plantación diferentes, según las características del sitio y los objetivos del sistema.

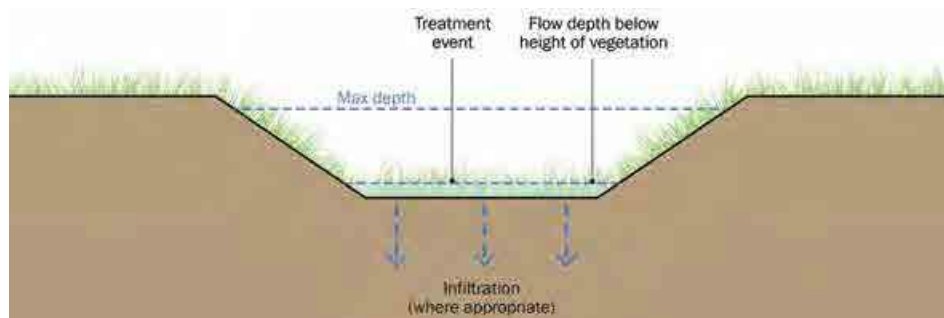
Una cuneta verde estándar es ancha y poco profunda y está cubierta por vegetación, generalmente césped, para ralentizar el agua, lo que facilita la sedimentación, la filtración a través de la zona de las raíces y la matriz del suelo, la evapotranspiración y la infiltración en el suelo subyacente. Una cuneta puede tener

presas de contención instaladas a lo largo de la trayectoria del flujo, que temporalmente estancan la escorrentía para aumentar la retención e infiltración de contaminantes y disminuir aún más la velocidad del flujo, particularmente útil para sitios con pendientes más pronunciadas.

Hay tres tipos de cunetas verdes:

✓ Cuneta verde de transporte y atenuación:

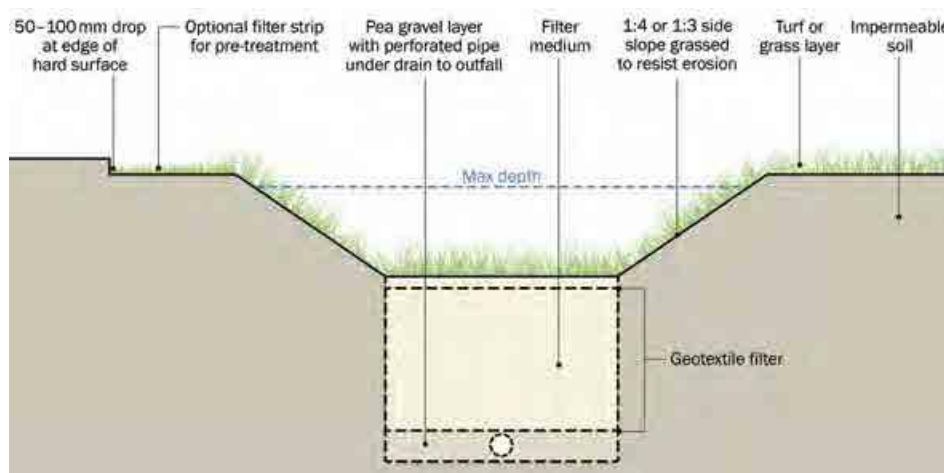
Es una forma particularmente efectiva de recolectar y transportar la escorrentía desde el área drenada a otra etapa del Tren de Gestión de SuDS.



Esquema típico de una Cuneta verde de transporte y atenuación. Fuente: CIRIA, 2015

✓ Cuneta verde seca o "mejorada"

La cuneta verde seca es un canal de transporte con vegetación, diseñado para incluir un lecho filtrante de suelo preparado que se superpone a un sistema de drenaje subterráneo.



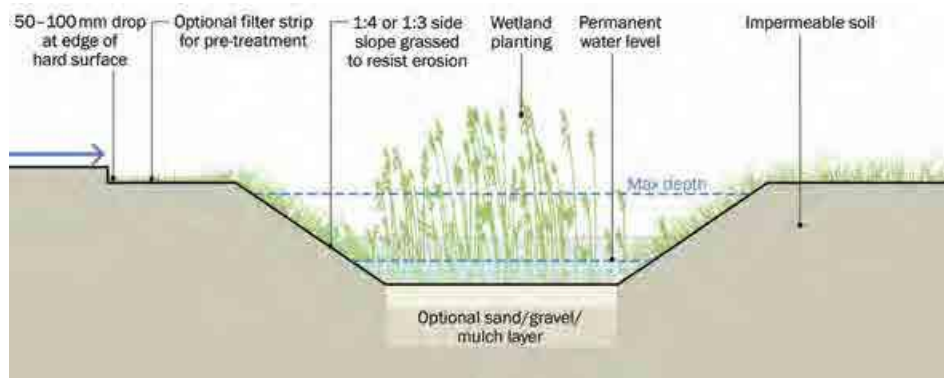
Esquema típico de una Cuneta verde seca. Fuente: CIRIA, 2015

Este desagüe inferior proporciona un tratamiento adicional y capacidad de transporte debajo de la base de la cuneta y evita el encharcamiento. Para evitar la

infiltración, o donde los niveles de agua subterránea son altos, se podría introducir un revestimiento en la base.

✓ Cuneta verde húmeda

Este sistema es equivalente al canal de transporte, pero está diseñado específicamente para brindar condiciones húmedas en la base. Se pueden usar donde los sitios son muy planos y los suelos están mal drenados y para brindar los requisitos de biodiversidad.



Esquema típico de una Cuneta verde húmeda. Fuente: CIRIA, 2015

3.3.8. Sistemas de Biorretención (Bioretention Systems)

Los sistemas de biorretención son depresiones ajardinadas poco profundas que pueden reducir los volúmenes de escorrentía y tratar la contaminación mediante el uso de suelos y vegetación modificados. Son particularmente eficaces para realizar intercepciones y también pueden proporcionar:

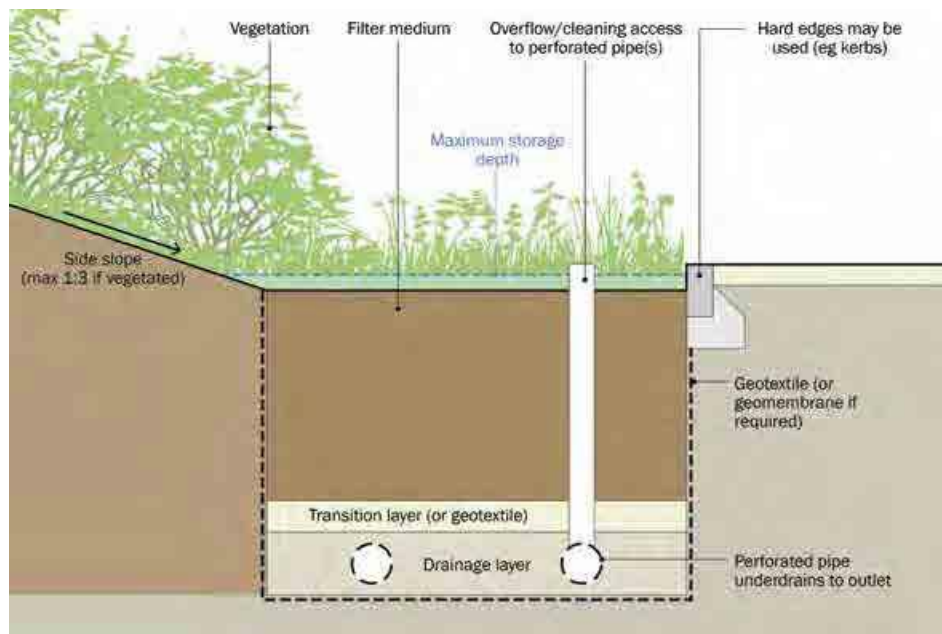
- Características del paisaje atractivas que se auto-irrigan y fertilizan
- Hábitat y biodiversidad
- Enfriamiento del microclima local debido a la evapotranspiración.

Son un componente de gestión de aguas superficiales muy flexible que se puede integrar en una amplia variedad de paisajes de desarrollo utilizando diferentes formas, materiales, plantaciones y dimensiones.

Por lo general, se utilizan para gestionar y tratar la escorrentía de frecuentes eventos de lluvia. Cuando se dirijan eventos más grandes al sistema, se requerirá considerar el impacto de las velocidades de diseño en el sistema. A menudo es más

apropiado pasar la escorrentía de eventos extremos directamente a los componentes de drenaje aguas abajo, a través de un desbordamiento o derivación.

La escorrentía recolectada por los estanques del sistema se acumula temporalmente en la superficie y luego se filtra a través de la vegetación y los suelos subyacentes. La escorrentía filtrada se recolecta usando un sistema de drenaje inferior o, si las condiciones del sitio lo permiten, se infiltra total o parcialmente en el suelo circundante. Parte del volumen de escorrentía se eliminará mediante evaporación y transpiración de la planta.



Componentes de un sistema de biorretención. Fuente: CIRIA, 2015

Hay muchas variaciones diferentes del sistema de biorretención :

✓ Jardín de lluvia (Rain garden)

Los jardines de lluvia son típicamente sistemas pequeños que sirven de una sola propiedad (techo o camino de entrada).

✓ Jardinera elevada (Raised Planter)

Estos son sistemas en caja, que pueden ser prefabricados, contruidos sobre la superficie del suelo circundante, con una mezcla de tierra plantada y un drenaje subterráneo para recolectar el agua filtrada. A menudo se utilizan para gestionar la escorrentía de techos adyacentes.

- ✓ Pozo de árbol de biorretención (Bioretention tree pit)

Estos son hoyos de árboles con un rendimiento mejorado logrado mediante la plantación de superficie adicional.

- ✓ Cuneta verde de biorretención (Bioretention swale)

Estos son sistemas de biorretención que se encuentran dentro de la base de un canal (a menudo denominado bioswales en los EE. UU.).

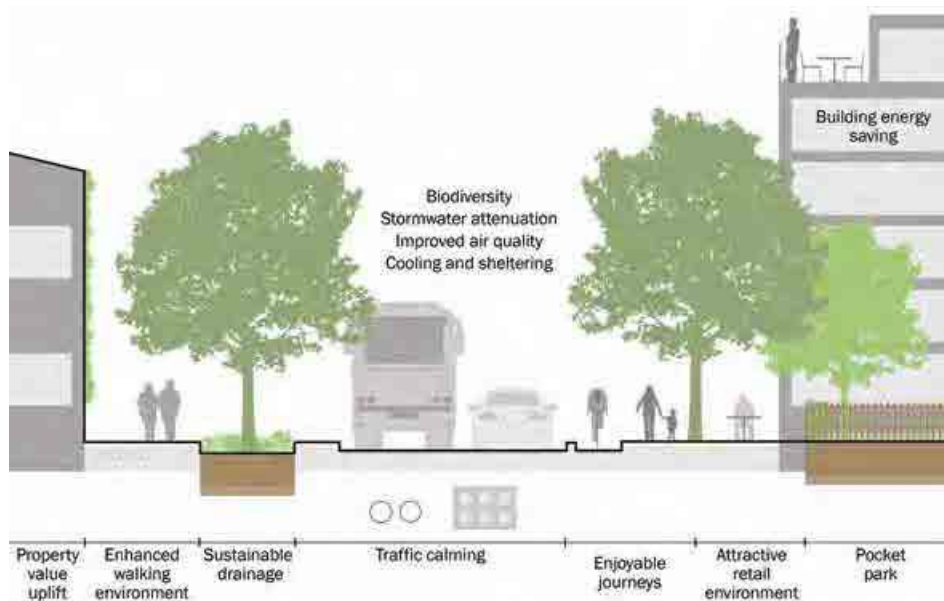
- ✓ Sistema de biorretención anaeróbico (Anaerobic bioretention system)

El sistema de biorretención anaeróbico tiene la tubería de salida diseñada para que haya un nivel de agua permanente dentro de la capa de drenaje. El almacenamiento de agua permite que la vegetación acceda a él durante los períodos secos y ayuda con el tratamiento de algunos contaminantes (por ejemplo, nitrógeno). Este tipo de sistema es particularmente bueno donde se plantan árboles, ya que las raíces pueden acceder fácilmente al agua almacenada.

3.3.9. Árboles (Trees)

Los árboles pueden ayudar a proteger y mejorar el medio ambiente urbano de varias formas importantes. Esto incluye:

- Contribuir a estrategias eficaces de gestión de aguas superficiales
- Agregar belleza y carácter al paisaje urbano, lo que a su vez ayuda a mejorar la salud y el bienestar de las comunidades locales y a aumentar el valor de las áreas residenciales y comerciales
- Reducir el consumo anual de energía del edificio moderando el clima local, es decir, manteniéndolo más fresco en verano y más cálido en invierno.
- Filtrado de contaminantes nocivos del aire
- Reducción de ruidos no deseados
- Crear hábitats vitales permitiendo que más especies prosperen en el entorno urbano
- Absorber y almacenar dióxido de carbono atmosférico.



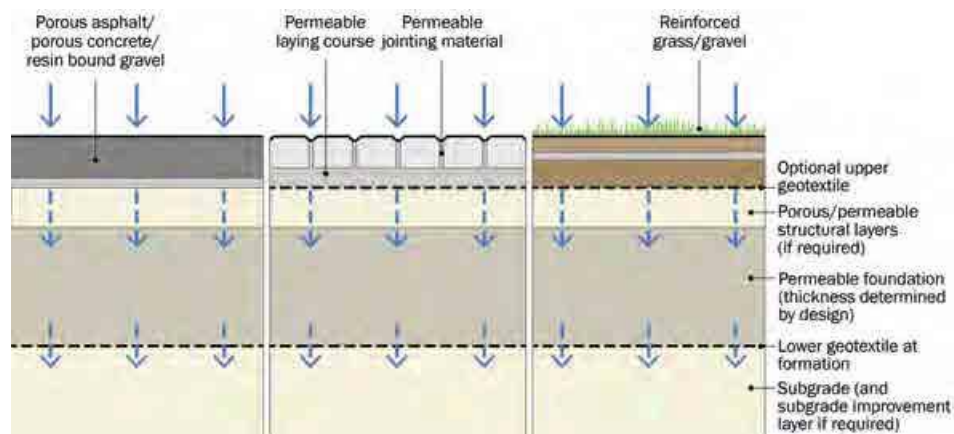
Cómo los árboles pueden mejorar una calle urbana. Fuente: TDAG, 2014

Los árboles y sus estructuras de plantación brindan beneficios a la gestión de las aguas superficiales de las siguientes maneras:

- **Transpiración:** este es el proceso por el cual el agua, extraída del suelo por las raíces de los árboles, se evapora a través de los poros. Los árboles extraen grandes cantidades de agua del suelo, lo que puede contribuir a reducir los volúmenes de escorrentía.
- **Intercepción** - Las hojas, ramas y superficies de tronco se interceptan (almacenan y permiten que el agua se evapore) y absorben la lluvia, reduciendo la cantidad de agua que llega al suelo, retrasando el inicio y reduciendo el volumen de escorrentía.
- **Mayor infiltración:** el crecimiento y la descomposición de las raíces aumentan la capacidad y la velocidad de infiltración del suelo, lo que reduce los volúmenes de escorrentía.
- **Fitorremediación:** en el proceso de extraer agua del suelo, los árboles también absorben trazas de productos químicos nocivos, incluidos metales, compuestos orgánicos, combustibles y solventes que están presentes en el suelo. Dentro del árbol, estos químicos pueden transformarse en sustancias menos dañinas, usarse como nutrientes y / o almacenarse en raíces, tallos y hojas.

3.3.10. Superficies Permeables (Pervious pavements)

Los pavimentos permeables proporcionan un pavimento adecuado para el tráfico de peatones y / o vehículos, al tiempo que permiten que el agua de lluvia se infiltre a través de la superficie. El agua se almacena temporalmente debajo de la superficie antes su infiltración al suelo.



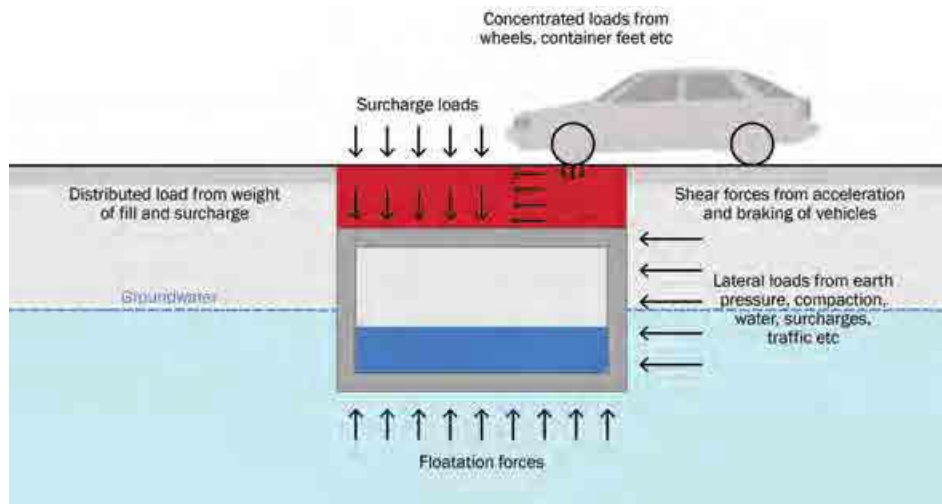
Esquema de un pavimento permeable. Fuente: CIRIA, 2015

Las superficies permeables, junto con sus subestructuras asociadas, son un medio eficiente de manejar la escorrentía de agua superficial cerca de su fuente: interceptando la escorrentía, reduciendo el volumen y la frecuencia de la escorrentía y proporcionando un medio de tratamiento. Los procesos de tratamiento que ocurren dentro de la estructura de la superficie, la matriz del subsuelo (incluidas las capas de suelo donde se permite la infiltración) y las capas de geotextil incluyen filtración, adsorción, biodegradación, sedimentación.

3.3.11. Estanques de Retención (Attenuation storage tanks)

Los estanques de retención se utilizan para crear un espacio vacío subterráneo para el almacenamiento temporal de agua superficial antes de la infiltración, liberación controlada o uso. Su flexibilidad inherente en el tamaño y la forma les permite adaptarse a las características y requisitos específicos de cualquier sitio. Sus principales beneficios son:

- su alto volumen de almacenamiento
- su potencial para la instalación debajo de carreteras y aparcamientos, siempre que estén diseñados para soportar cargas de tráfico.



Cargas típicas a considerar en el diseño estructural de estanques de retención. Fuente: CIRIA, 2015

La mantenibilidad de los sistemas de almacenamiento de estanques de retención requiere una consideración cuidadosa. Se encuentran debajo del suelo, por lo que cualquier falla u obstrucción tenderá a pasar desapercibida, lo que puede aumentar los riesgos para el sitio.

Todos estos sistemas requieren integración con la estrategia general de tratamiento de aguas superficiales, ya que no tienen una capacidad de tratamiento inherente. Pueden ser eficientes en cuanto al espacio, debido al potencial de uso del terreno sobre los tanques, pero como son sistemas estructurales, el costo de instalación tenderá a ser alto en comparación con los sistemas de almacenamiento en la superficie.

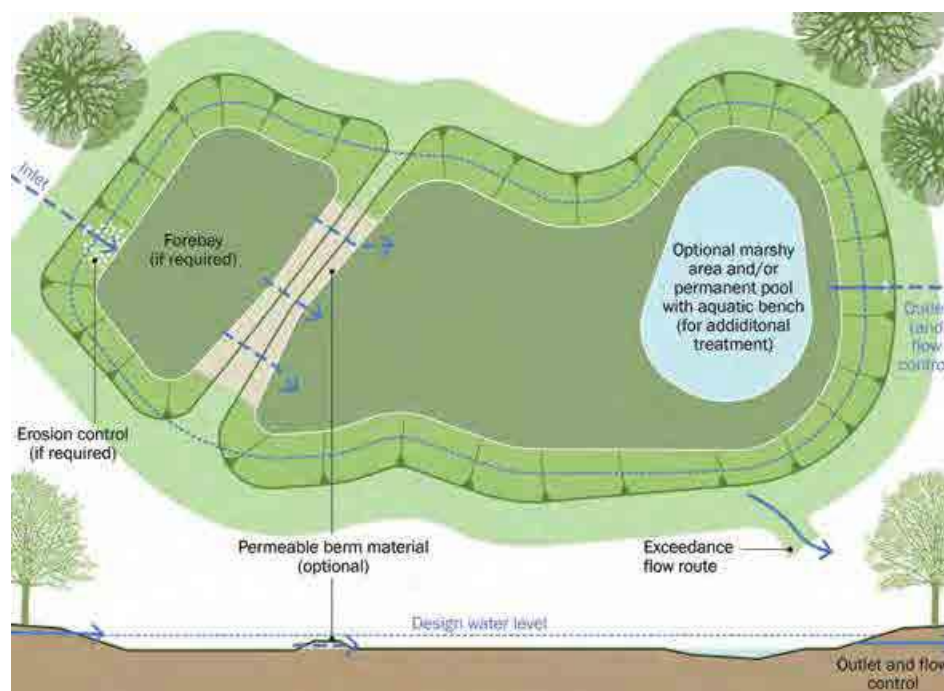
3.3.12. Depósitos de Detención (Detention Basins)

Los depósitos de detención son depresiones ajardinadas que normalmente están secas, excepto durante e inmediatamente después de las tormentas. Pueden ser componentes en línea donde la escorrentía superficial de eventos regulares se enruta a través de la cuenca y cuando los flujos aumentan, el depósito se llena y proporciona almacenamiento de escorrentía y atenuación del flujo. También pueden ser componentes fuera de línea hacia los que se desvía la escorrentía una vez que los flujos alcanzan un umbral específico.

Donde el depósito tiene vegetación, la superficie del suelo puede absorber algo de escorrentía, por lo que puede usarse para apoyar la prevención de escorrentía del sitio para pequeños eventos de lluvia, siempre que pequeñas cantidades de infiltración no representen un riesgo para las aguas subterráneas. Los principales beneficios de calidad

del agua de los depósitos de detención con vegetación están asociados con la remoción de sedimentos y materiales flotantes.

Los depósitos de detención fuera de línea normalmente tendrán un uso principal alternativo: ya sea como un servicio o instalación recreativa, o como parte del paisaje urbano.



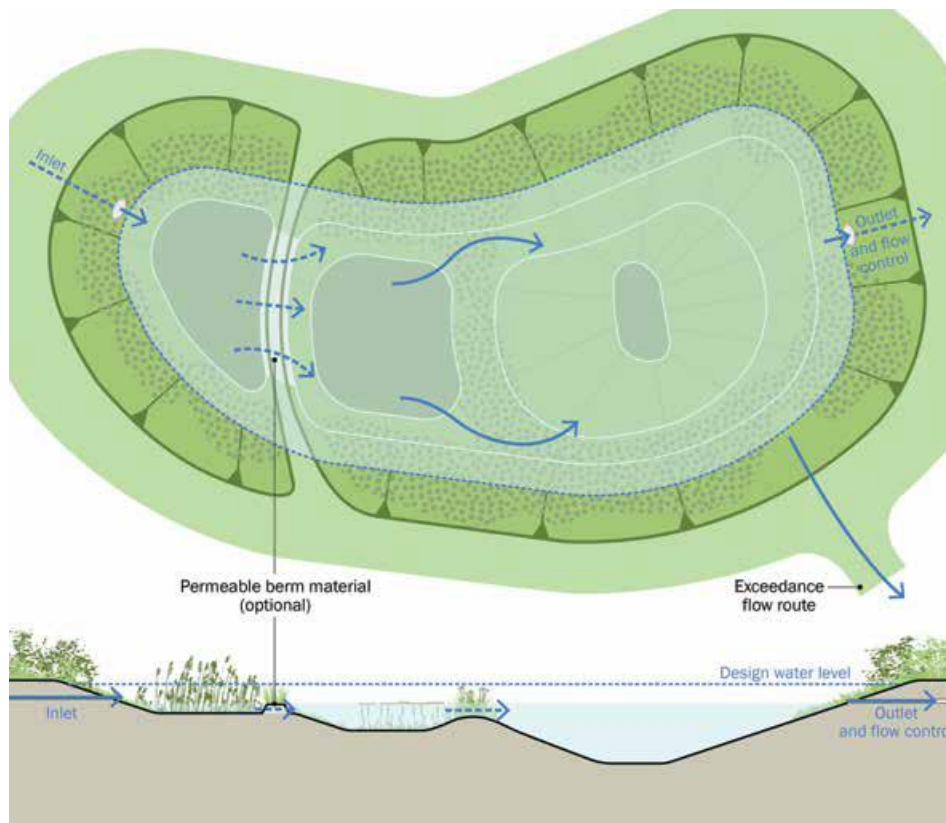
Vista en planta y elevación de un depósito de detención con vegetación. Fuente: CIRIA, 2015

Los depósitos de detención con vegetación se pueden diseñar con una pequeña piscina permanente en la salida para ayudar a prevenir la resuspensión de partículas de sedimento por tormentas de alta intensidad y para proporcionar un tratamiento de calidad de agua mejorado para eventos frecuentes. Cualquier elemento de agua abierto requeriría una integración efectiva en el paisaje, y se requeriría considerar el riesgo de que el estanque se seque durante el verano, lo que podría causar la muerte de las plantas. Un estanque efímero podría ser valioso desde la perspectiva de la biodiversidad, pero puede parecer poco atractivo, y esto requiere una consideración cuidadosa a la hora del diseño como la evaluación de profundidades mínimas apropiadas.

3.3.13. Humedales (wetlands)

Los humedales son instalaciones con un charco de agua permanente que proporciona tanto atenuación como tratamiento de la escorrentía de agua superficial.

Pueden sustentar la vegetación acuática emergente y sumergida a lo largo de su costa y en zonas poco profundas y pantanosas, lo que ayuda a mejorar los procesos de tratamiento y tiene beneficios de amenidad y biodiversidad. El término "humedal" se utiliza para describir cuerpos de agua con proporciones más grandes de la superficie cubierta por plantas acuáticas. También tienden a tener mayores variaciones de profundidad y pueden incluir islas poco profundas.



Vista en planta y perfil de los detalles de un humedal. Fuente: CIRIA, 2015

Los humedales bien administrados pueden agregar un valor económico significativo a un desarrollo, aumentando el valor de la propiedad y atrayendo negocios y turismo. La aceptabilidad pública de los estanques depende en gran medida de su calidad estética, de su integración efectiva en el paisaje y de su desempeño como recurso comunitario, por lo que su forma, disposición y plantación generalmente deben ser diseñadas y especificadas por arquitectos paisajistas.

Se pueden crear humedales utilizando una depresión natural existente, excavando una nueva depresión o construyendo terraplenes.

3.4. Experiencias internacionales en la aplicación de SuDS

El uso las técnicas SuDS se extiende cada vez más en muchos países del mundo. Se elaboran guías de diseño, normativas, y documentos necesarios para su implementación. Se trata de países como Reino Unido, Australia, Estados Unidos, Alemania, Francia, Países Bajos, Sudáfrica, Japón, Nueva Zelanda, etc.

En EE. UU, se detectó en los años 1970 un problema de contaminación que arrastraba la escorrentía urbana hacia el medio natural. De ahí, se llevó a cabo la primera investigación en 1972 sobre superficies permeables. Esta preocupación se reflejó en el “Clean Water Act” que derivó en programas específicos de actuación para resolver el problema (Perales & Andrés-Doménech, 2007). A partir de 1990, la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA) promovió la "Phase 1 stormwater rule" que obligaba a las ciudades con poblaciones de más de 100000 obtener permisos para descargar el agua de lluvia al medio natural. A partir de 1999 también se aplicaría para pequeñas urbanizaciones. Para obtener los permisos, es necesario preparar un plan de gestión de agua de lluvia que incluya técnicas SuD (Nisenson, 2006). La Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE) ha producido varios manuales sobre los SuDS para reducir y tratar la escorrentía. Por su parte, los gobiernos estatales y locales continuaron legislando y promoviendo el uso de los SuDS. Como ejemplos, citamos las ciudades de Portland y Seattle Dónde se implementaron proyectos de cubiertas verdes y pavimentos porosos que han logrado reducir en un 25% los contaminantes en las aguas, así como la retención aproximadamente del 37% más del volumen de escorrentía (Poletto, 2011).

El ejemplo de Australia a su vez es bastante interesante. El área metropolitana de Melbourne es ampliamente considerada como un ejemplo del proceso de cambio en la gestión de agua de pluvial. Brown y Clarke (2007) explican en detalle las cuatro etapas de este proceso. Actualmente en Melbourne, es obligatorio gestionar las aguas pluviales a través de los SuDS en los nuevos proyectos. En Sydney, se han desarrollado “The WSUD Technical Guidelines for Western Sydney” que son directrices técnicas y especificaciones de diseño para el uso de SuDS en el oeste de Sydney.

En Europa, el uso de los SuDS está más extendido en los países del centro y del norte. En el Reino Unido, por ejemplo, se ha introducido un proyecto de ley “Flood and Water Management Bill”, según el cual el gobierno pretende prepararse para las inundaciones y garantizar la gestión sostenible de los recursos hídricos (Febles, Perales,

& Soto, 2009). Además, es un país con una larga tradición en el estudio de los SuDS, en base a los objetivos marcados por la Agenda 21 en relación a la gestión del agua de lluvia. En este contexto, muchos profesionales especializados en drenaje sostenible, así como empresas y universidades se han reunido en Reino Unido para elaborar guías y manuales como CIRIA, que se han actualizado constantemente durante más de 10 años. En Escocia, según “Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research”, hay más de 4.000 sistemas SuDS implementados.

En Francia y Alemania, el uso superficies porosas ha sido una realidad desde la década de 1970, y la implementación de los SUD se ha estudiado en profundidad desde las décadas de 1980 y 1990. De hecho, en Bourdeaux, desde 1978 son obligatorios. En Francia, las medidas de control de inundaciones como los depósitos de retención son más comunes, debido a la creciente preocupación al respecto, mientras que en Alemania se utilizan técnicas de las zanjas de infiltración y cunetas verdes en áreas muy impermeables. En Suecia y Dinamarca, se utilizan una variedad de técnicas de retención, como los depósitos de infiltración, que ayudan a controlar la escorrentía causada por el deshielo (Revitt, Ellis y L., 2003).

3.5. La aplicación de los SUDS en España

Según Castro (2013) la primera aplicación seria de los SuDS en España se produjo en 2003, cuando el Ayuntamiento de Madrid aplicó los criterios de la empresa Atlantis en las obras de renovación del Parque Gomeznarro. Los métodos convencionales y el suelo impermeable han sido reemplazados por pavimentos permeables para controlar la escorrentía y reutilizar el agua para el riego.

En Barcelona, la primera aplicación fue en 2005, se inició el desarrollo de proyectos como el Parque del Torrente de las Monjas y el barrio de Torre Baró, que se finalizaron en 2008.

Posteriormente, en 2009, se completó el trabajo en el Área de conocimiento de Roberto Soto en BAGURSA, en lo cual se utilizaron zanjas filtrantes en una calle bastante relevante.

En San Sebastián se aplicaron los SuDS con la rehabilitación del parque de Cristina Enea en 2007 y la del Parque Ametzagaina en 2010.

La implantación real de los SuDS en España está todavía al inicio, pero las medidas implantadas en ciudades como Madrid, Barcelona, San Sebastián y el resto de las ciudades son notables.

4. Caso de estudio: Barrio de Zerarda Marruecos

Zerarda es una pequeña ciudad en el noreste de Marruecos, administrativamente pertenece al círculo de Tahla, provincia de Taza.

Se encuentra a unos 15 km al sureste de Tahla, en la intersección de las carreteras provinciales No. 5407 y 5403.



Situación geográfica de Zerarda

La comuna rural de Zerarda incluye 22 aduares que totalizan una población de 14,000 según el censo de 2014 distribuido en 1785 hogares.

La actividad predominante en la comuna se manifiesta principalmente en la agricultura. Además de la agricultura, la cría de ganado vacuno y ovino representa una actividad económica en auge pero aún tradicional.

Debido a su pertenencia a la unidad geográfica del Atlas Medio, la ciudad tiene potenciales hídricos significativos, pero siempre se explotan de manera rudimentaria y no excluyen la posibilidad de contaminación del agua que puede convertirse en una fuente de morbilidad.

El tipo predominante de hábitat es el disperso. Solo tres aduares son del tipo agrupado, y otros 4 semi-agrupados. La construcción con tierra forma la mayoría que son 18

aduares, es decir 82% de todos los aduares en la ciudad. Desde el punto de vista del relieve, debe tenerse en cuenta que el 87% de los aduares están en relieve montañoso, es decir, 14 aduares en montañas y 8 en colinas.



Delimitación del área de intervención. Fuente: Elaboración propia

La problemática del desarrollo urbano del centro aparece en la interacción de los diversos problemas vinculados a aspectos naturales, culturales, socioeconómicos, etc. Estos problemas que dificultan el crecimiento urbano del centro y su desarrollo económico y social se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- La debilidad de la estructura económica local fomenta la emigración;
- El municipio no cuenta con un patrimonio territorial significativo, que probablemente ayude a la proyección de equipamientos públicos;
- Insuficiencia de instalaciones públicas capaces de satisfacer las necesidades de la población;
- Existencia de núcleos clandestinos que requieren operaciones de reestructuración;

A todo esto se añade el problema de inundaciones por falta de infraestructura que gestiona el agua pluvial.

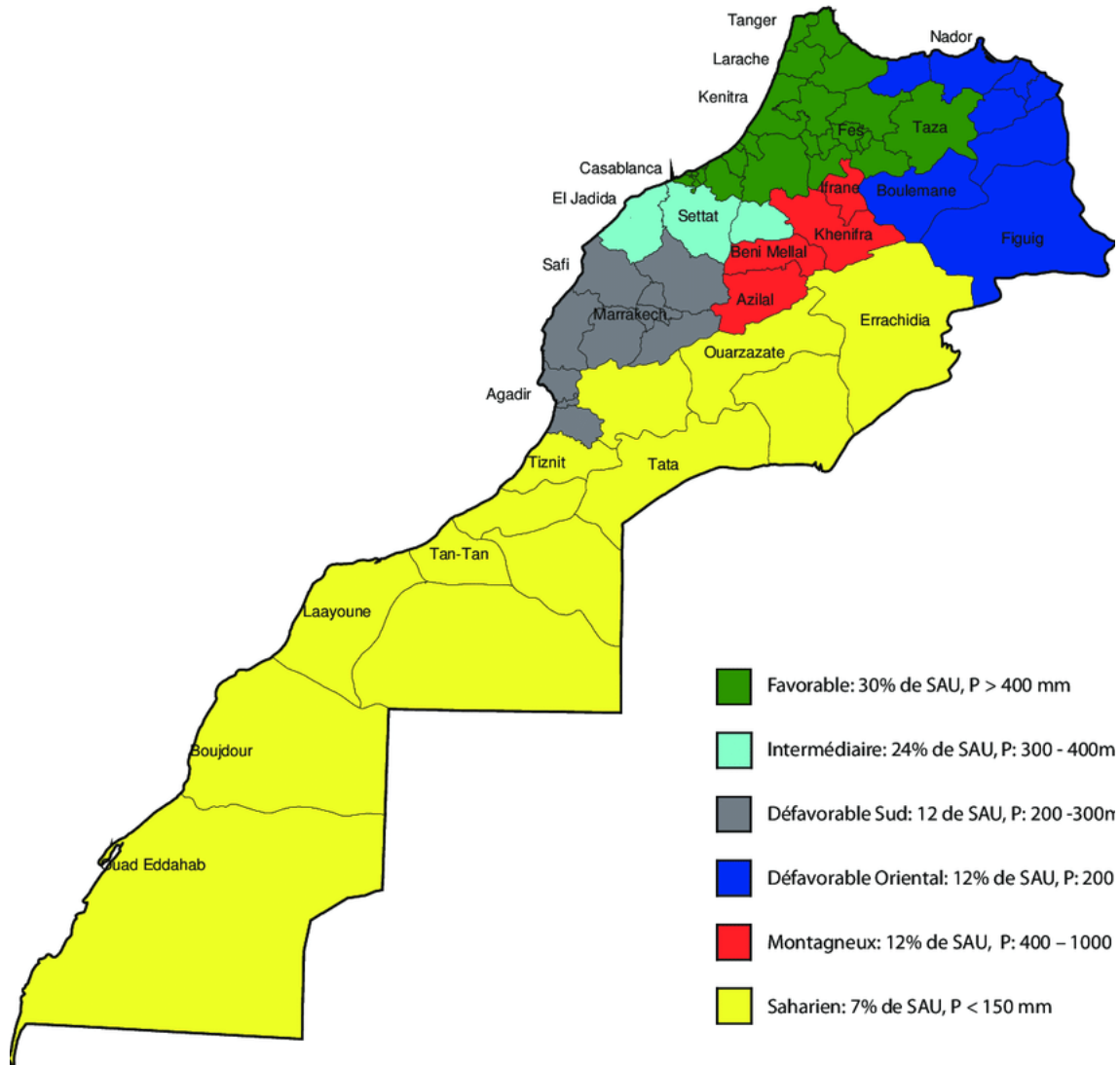
Los objetivos de la intervención son:

- trazar un sistema eficaz de drenaje que sea capaz de proteger tanto el entorno social como el ambiental.
- Almacenar y/o transportar de manera segura las aguas de escorrentía sin poner en peligro a las personas o sus propiedades.
- La reducción en lo posible del riesgo de inundación.
- Mejorar la accesibilidad y por lo tanto la habitabilidad a través de la gestión de tres flujos: Los vehículos, el peatón y el agua.
- Disminución de la carga de contaminantes en el agua de escorrentía, mejorando su calidad antes de ser vertida al medio.

4.1. Características de la zona

4.1.1 El clima

La provincia de Taza, perteneciente a la región nororiental de Marruecos, se caracteriza por un clima subhúmedo según el Ministerio de Planificación del Agua y el Medio Ambiente.



Carte des zones climatiques du maroc. Fuente: Mrabet, 2007

La precipitación y las temperaturas son muy marcadas en esta región y confirman el carácter montañoso con una temperatura media anual baja (10°) y un máximo anual de precipitación alto (1000 mm).

4.1.2 Pluviometría

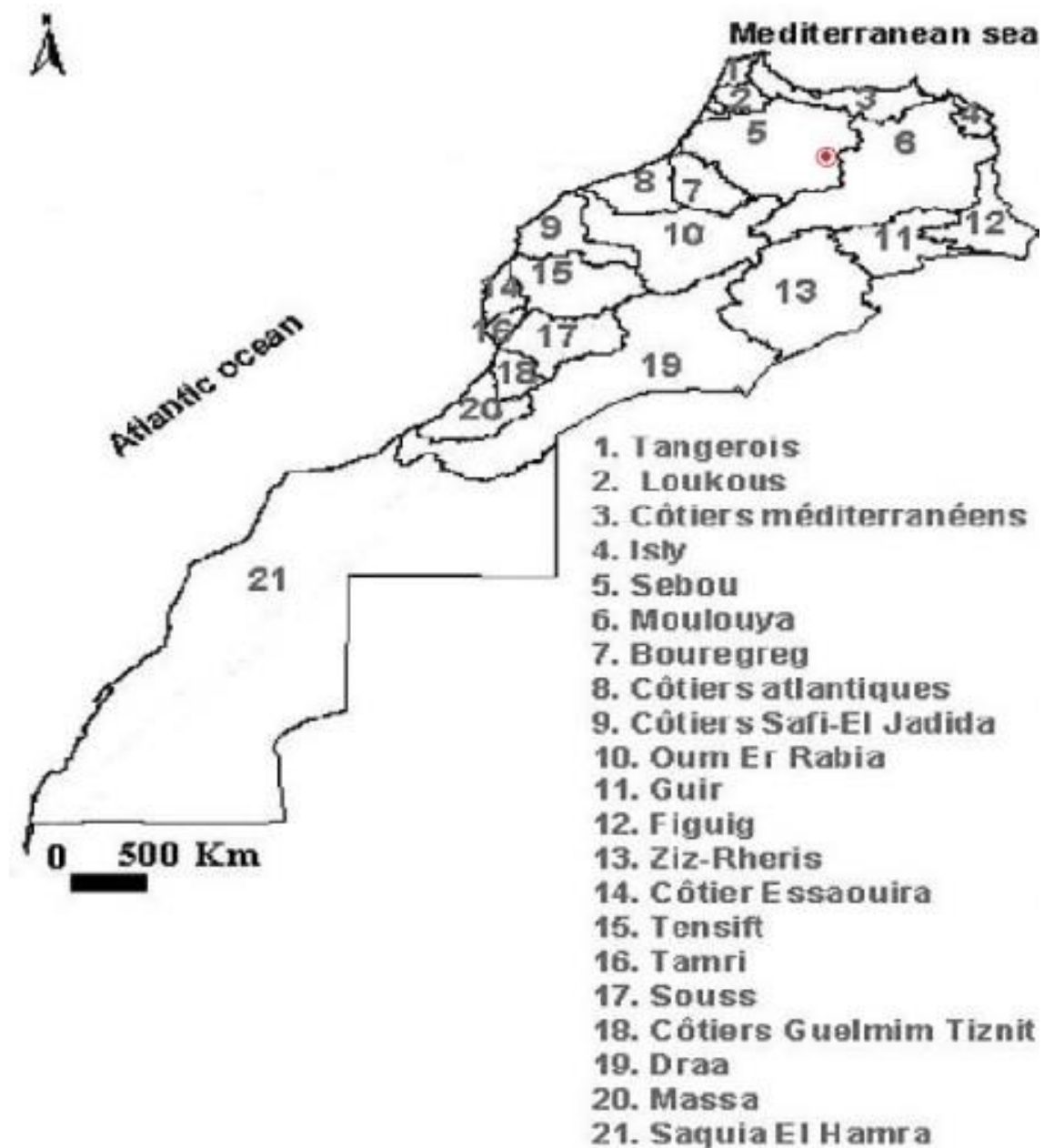
La pluviometría en el área de estudio se caracteriza por dos temporadas muy distintas y muy contrastantes, una temporada lluviosa que abarca casi 8 meses de octubre a mayo, con una precipitación promedio cercana a 580 mm (las áreas montañosas hasta 1500 mm) y una temporada seca de junio a septiembre cuando la temperatura máxima promedio se acerca a los 35° C.

4.1.3 Geología

El centro está ubicado sobre un terreno rocoso con presencia de suelo arcilloso en las superficies.

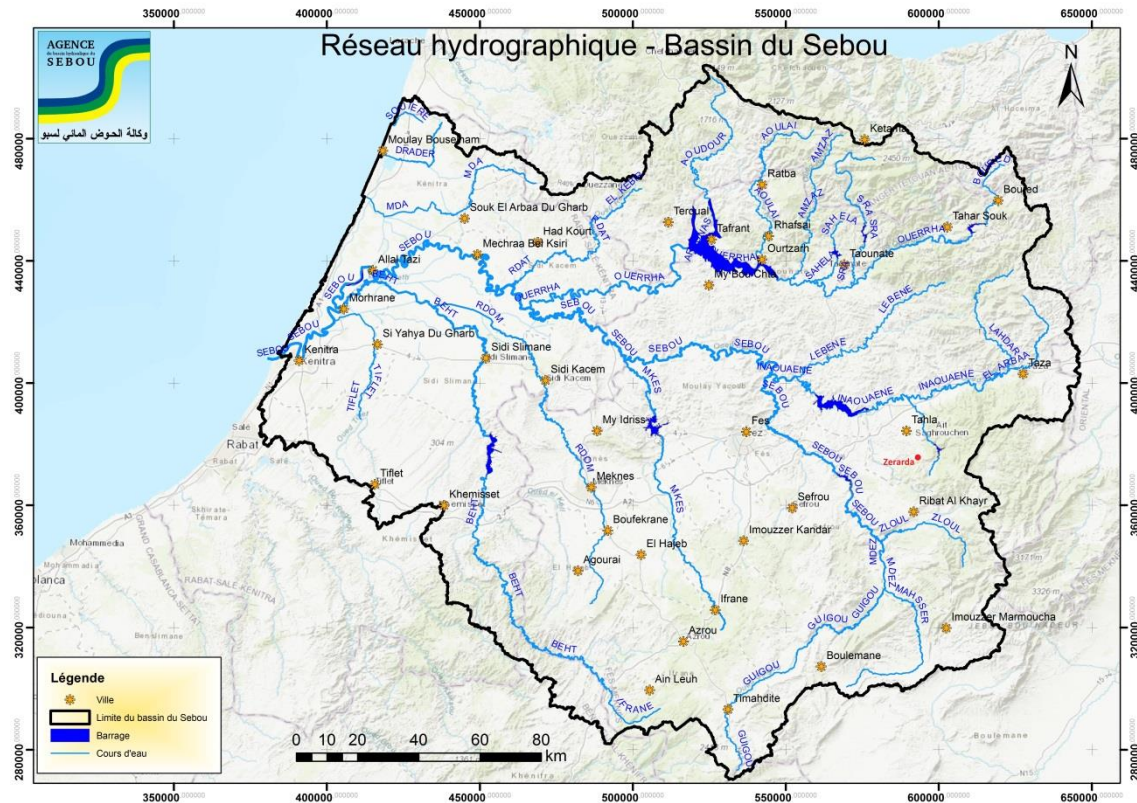
4.1.4 Hidrología

Zerarda forma parte de la cuenca hidrográfica de Sebou una de las 21 cuencas principales que subdividen Marruecos como se ve en la figura siguiente:



Reparto de cuencas hidrográficas en marruecos. Fuente : Bensaleh, Sabir, Rosse et Laaouina, 2012.

El wadi de Sebou tiene su origen, bajo el nombre de Guigou, en el Atlas Medio a una altitud de 2030 m. Viaja una longitud de 500 km antes de llegar a su desembocadura en el Océano Atlántico en Mehdiya cerca de Kenitra, drenando un área de alrededor de 40.000 km².



Red hidrográfica de la cuenca de Sebou. Fuente: Agencia de la cuenca hidrográfica de Sebou

La cuenca del Sebou contiene casi un tercio del agua superficial del país y puede subdividirse hidrológicamente en cinco grupos:

- El Sebou Alto y Medio, que se origina en el Atlas Medio y drena respectivamente 6000 km² y 5400 km²;
- El Inaouène proviene de la región de Taza, en contacto con los dominios del Medio Atlas y ante rifeño, drenando un área de 5200 km²;
- El Ouergha, el principal afluente del Sebou, drena un área de alrededor de 7.300 km²;
- El Beht, que tiene un área de alrededor de 9000 km², recibe el wadi R'dom antes de unirse al Sebou en la llanura de Gharb;
- El bajo Sebou, cuya superficie abarca unos 6000 km², y que constituye un cauce inestable insuficiente para soportar los flujos de crecida.

En cuanto a nuestra zona de estudio, no se detectó ningún punto de agua (fuente - agua subterránea...) en los estudios, y no se detectó ninguna presencia de agua durante la campaña de reconocimiento en febrero de 2020.

4.2. Estudio hidráulico

✓ Escorrentía

El área de estudio se caracteriza por dos puntos altos:

P1 que es la entrada del flujo que viene de la carretera provincial P5403 y que luego se une al flujo de la carretera P5407 para acabar en el valle de la derecha.

P2 que constituye en punto de repartida de una parte del flujo hacia el noroeste y otra parte hacia el suroeste, todo acabando en el valle de la izquierda.



Pendientes y sentido de la escorrentía. Fuente: Elaboración propia

✓ Subcuencas

El ámbito de actuación se puede dividir en subcuencas de la manera siguiente:



División de la cuenca de estudio en subcuencas. Fuente: Elaboración propia

4.3. Análisis del potencial del terreno

En la figura siguiente, se representan las distintas calles que dispone el barrio según la tipología. En la tipología 1 tenemos las carreteras provinciales que pasan por el barrio, y en la segunda se encuentran las calles principales o las más anchas y las más transitadas, luego viene su continuidad y por último las pequeñas calles estrechas.

Se puede observar que aparte de esas calles representadas, no se dispone de mucho espacio público dónde se puede actuar, lo que lleva a pensar en intervenir sobre las mismas con una de las técnicas SuDS adecuadas.



Representación de las diferentes calles según la tipología. Fuente: Elaboración propia

4.4. Selección de las técnicas apropiadas

El organismo inglés “Construction Industry Research and Information Association” (CIRIA) Propone unas matrices para la selección de los métodos SuDS adecuados teniendo en cuenta cuatro factores:

4.4.1. Matriz de selección en función de las características físicas del lugar

La siguiente tabla nos ayuda a tomar la decisión a la hora de elegir la técnica SuDS según el tipo de suelo, el área de drenaje, profundidad del nivel freático, la pendiente del terreno, la carga hidráulica y el espacio disponible.

Tabla 1. Viabilidad de las técnicas SuDS en función de las características físicas del lugar. Fuente: CIRIA, 2007.

Grupo de SDUS	Técnica	Suelo		Área de drenaje para cada técnica independiente		Profundidad del nivel freático		Pendiente		Carga hidráulica		Espacio disponible	
		Permeable	Impermeable	0-2 ha	> 2 ha	0-1 m	> 1 m	0-5 %	> 5 %	0-1 m	1-2 m	Poco	Elevado
Retención	Estanque de retención	Sí	Sí*	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Almacenamiento subsuperficial	Sí	Sí	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Humedal	Humedal poco profundo	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque de detención extendido	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque/ Humedal	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal pequeño	Sí*	Sí*	Sí*	No	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
	Humedales con gravas sumergidas	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal en canal	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Infiltración	Zanjas de infiltración	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
	Estanques de infiltración	No	Sí	Sí	NR	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
	Pozos de infiltración	No	Sí	Sí	NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Filtración	Filtros de arena superficiales	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí
	Filtros de arena subsuperficiales	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
	Filtros de arena perimetrales	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
	Biorretención	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
	Zanjas filtrantes	Sí	Sí*	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Detención	Estanques de detención	Sí	Sí*	Sí	NR	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
Canales abiertos	Cunetas	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
	Cunetas secas	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
	Cunetas húmedas	Sí*	Sí*	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No**	Sí	No	No	Sí
Control en fuente	Green roof	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Recolección de agua de precipitación	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	-	-	-
	Pavimento permeable	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí

*: Requiere de alguna instalación adicional o condición determinada para su correcto funcionamiento.

** : A menos que siga la pendiente natural del terreno que alcanza ese valor

NR: Posible, pero no recomendable

Considerando como inputs las condiciones de nuestra zona de estudio que son sobre todo la poca disponibilidad del espacio y el área de drenaje, y siguiendo un proceso de eliminación, podemos afirmar según la tabla 1 que la técnica más adecuada para nuestro caso es un pavimento permeable.

4.4.2. Matriz de selección en función de los usos del suelo

El uso del suelo puede ser residencial, comercial, o industrial, a esto se añade la densidad, tipo de carreteras y si hay zonas en construcción. La tabla siguiente nos indica las recomendaciones en cada caso.

Tabla 2. Viabilidad de las técnicas SuDS en función de los usos del suelo. Fuente: CIRIA, 2007.

Grupo de SDUS	Técnica	Baja densidad	Zona Residencial	Carreteras locales	Zona comercial	Zonas en construcción	Zonas industriales
Retención	Estanque de retención	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Almacenamiento subsuperficial	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Humedal	Humedal poco profundo	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque de detención extendido	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Estanque/ Humedal	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal pequeño	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Humedales con gravas sumergidas	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Humedal en canal	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Infiltración	Zanjas de infiltración	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Estanques de infiltración	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Pozos de infiltración	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Filtración	Filtros de arena superficiales	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Filtros de arena subsuperficiales	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Filtros de arena perimetrales	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
	Biorretención	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Zanjas filtrantes	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Detención	Estanques de detención	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Canales abiertos	Cunetas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cunetas húmedas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Cunetas secas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Control en fuente	Green roof	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	Recolección de agua de precipitación	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	Pavimento permeable	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

Siguiendo el análisis del párrafo interior, y tratándose de una zona residencial, la tabla 2 nos confirma la opción del pavimento permeable.

4.4.3. Matriz de selección en función del rendimiento en el control de la cantidad y calidad del agua

Hay que recordar que uno de los objetivos más importantes de los SuDS y que no considera el sistema convencional es la calidad. Por ellos la tabla siguiente considera el factor de calidad además del control hidráulico para elegir las técnicas adecuadas.

En nuestro caso y como vimos en los párrafos interiores, la técnica elegida es el pavimento permeable, que según la tabla 3 tiene un alto rendimiento en el control de cantidad y calidad del agua.

Tabla 3. Viabilidad de las técnicas SuDS en función de los procesos de tratamientos requeridos. Fuente: CIRIA, 2007.

Grupo de SDUS	Técnica	Tratamiento potencial de la calidad del agua					Control hidráulico			
		Eliminación de los sólidos suspendidos totales	Eliminación de metales pesados	Eliminación de nutrientes (fósforo, nitrógeno)	Eliminación de microorganismos	Capacidad para eliminar sólidos disueltos y en suspensión	Reducción del volumen de escorrentía	Idoneidad del control para tormentas de diferente periodo de retorno		
								0,5 años	10-30 años	100 años
Retención	Estanque de retención	A	M	M	M	A	B	A	A	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	B	B	B	B	B	A	A	A
Humedal	Humedal poco profundo	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Estanque de detención extendido	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Estanque/ Humedal	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedal pequeño	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedales con gravas sumergidas	A	M	A	M	A	B	A	M	B
	Humedal en canal	A	M	A	M	A	B	A	M	B
Infiltración	Zanjas de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
	Estanques de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	A
	Pozos de infiltración	A	A	A	M	A	A	A	A	B
Filtración	Filtros de arena superficiales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtros de arena subsuperficiales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Filtros de arena perimetrales	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Biorretención	A	A	A	M	A	B	A	M	B
	Zanjas filtrantes	A	A	A	M	A	B	A	A	B
Detención	Estanques de detención	M	M	B	B	B	B	A	A	A
Canales abiertos	Cunetas	A	A	A	M	A	M	A	A	A
	Cunetas húmedas	A	A	M	A	A	B	A	A	A
	Cunetas secas	A	A	A	M	A	M	A	A	A
Control en fuente	Green roof	S/A	S/A	S/A	S/A	A	A	A	A	B
	Recolección de agua de precipitación	M	B	B	B	S/A	M	M	A	B
	Pavimento permeable	A	A	A	A	A	A	A	A	B

A: Alto potencial
M: Medio potencial
B: Bajo potencial
S/A: Sin aplicación

4.4.4. Matriz de selección en función de factores ambientales y sociales

Como último filtro de selección, los costes de mantenimiento forman un factor importante a la hora de elegir la técnica SuDS. Además, hay que considerar el potencial de la biodiversidad que puede crear en la zona. La siguiente tabla es una herramienta eficaz en este caso.

Tabla 4. Viabilidad de las técnicas SuDS en función de los costes, mantenimiento y factores ambientales. Fuente: CIRIA, 2007.

Grupo de SDUS	Técnica	Mantenimiento	Aceptación de la comunidad	Coste	Potencial de creación de hábitats
Retención	Estanque de retención	M	A	M	A
	Almacenamiento subsuperficial	B	A	M	B
Humedal	Humedal poco profundo	A	A	A	A
	Estanque de detención extendido	A	A	A	A
	Estanque/ Humedal	A	A	A	A
	Humedal pequeño	A	M	A	A
	Humedales con gravas sumergidas	M	B	A	M
	Humedal en canal	A	A	A	A
Infiltración	Zanjas de infiltración	B	M	B	B
	Estanques de infiltración	M	A	B	M
	Pozos de infiltración	B	M	M	B
Filtración	Filtros de arena superficiales	M	B	A	M
	Filtros de arena subsuperficiales	M	B	A	M
	Filtros de arena perimetrales	M	B	A	M
	Biorretención	A	A	M	A
	Zanjas filtrantes	M	M	M	B
Detención	Estanques de detención	B	A	B	M
Canales abiertos	Cunetas	B	M	M	M
	Cunetas húmedas	M	M	M	A
	Cunetas secas	B	M	M	M
Control en fuente	Green roof	A	A	A	A
	Recolección de agua de precipitación	A	M	A	B
	Pavimento permeable	M	M	M	B

A: Alto potencial

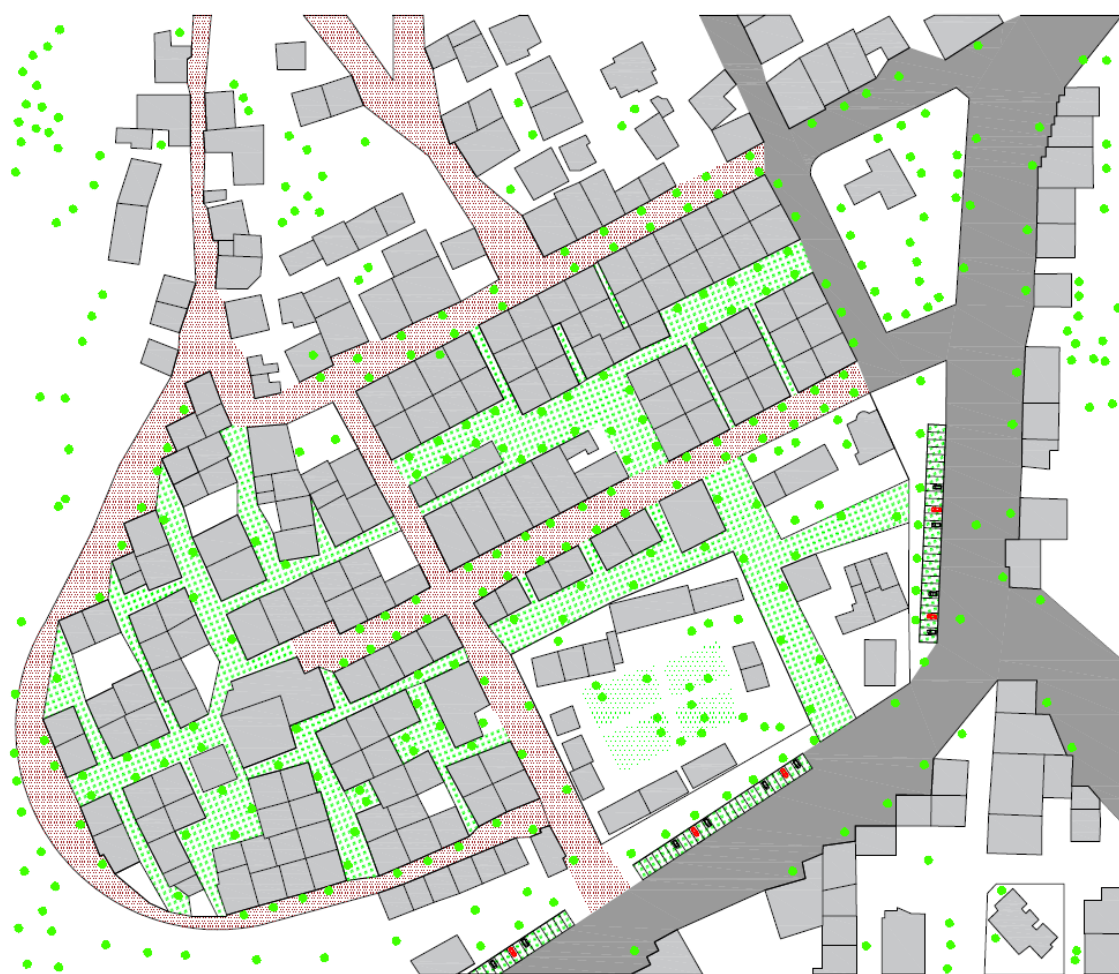
M: Medio potencial

B: Bajo potencial

Para el pavimento permeable que es nuestra técnica elegida, vemos según la tabla 4 que el coste y la frecuencia de mantenimiento son medios, lo que se puede aceptar visto que casi todas las técnicas SuDS necesitan un mantenimiento especial.

4.5. Propuesta de proyecto

Teniendo en cuenta todo el análisis que se ha hecho antes se propone la intervención siguiente:



Propuesta de proyecto Zerarda. Fuente: Elaboración propia

Las zonas en verde forman las calles peatonales, se ha dividido el barrio en tres micros barrios ecológicos, dónde los coches solo pueden circular en los bordes sobre el pavimento representado en marrón.

Se ha creado también zonas de aparcamiento a lo largo de la carretera provincial P5407. Todo el pavimento es permeable.

Como plan de gestión del agua se seguirá a lo máximo la topografía del terreno con cunetas debajo de la estructura de las calles, el objetivo es guiar el agua para que acabe en los dos valles adyacentes al barrio.

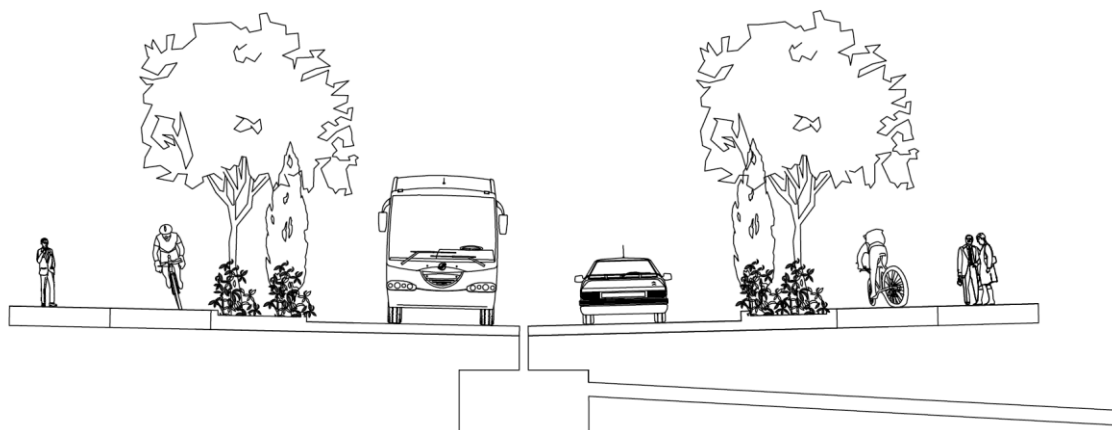


Plan de gestión del agua. Fuente: Elaboración propia

A continuación una vista en corte de las calles para las 4 tipologías explicadas en el párrafo 4.3 después de la intervención

Tipología 1

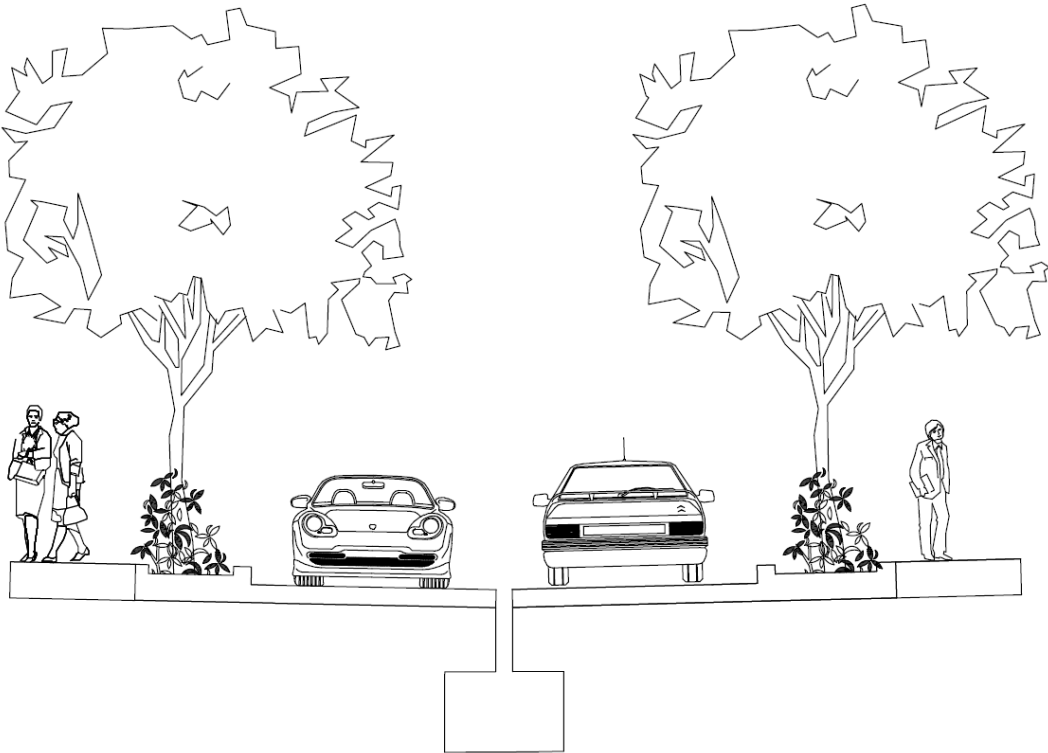
Esta tipología es de 16 metros de media lo que se propone la distribución siguiente:



Corte de calle tipología 1. Fuente: Elaboración propia

Tipología 2

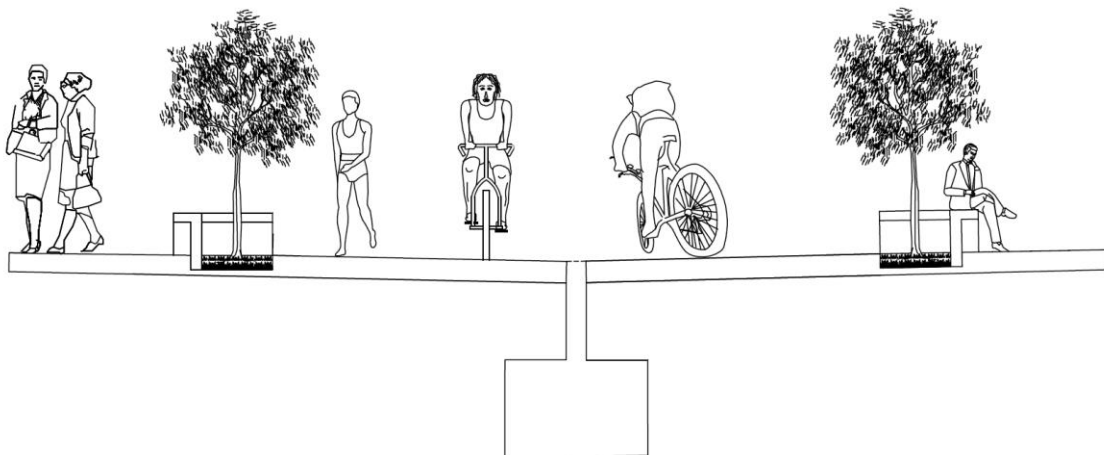
Esta tipología es de 8 metros de media lo que se propone la distribución siguiente:



Corte de calle tipología 2. Fuente: Elaboración propia

Tipología 3

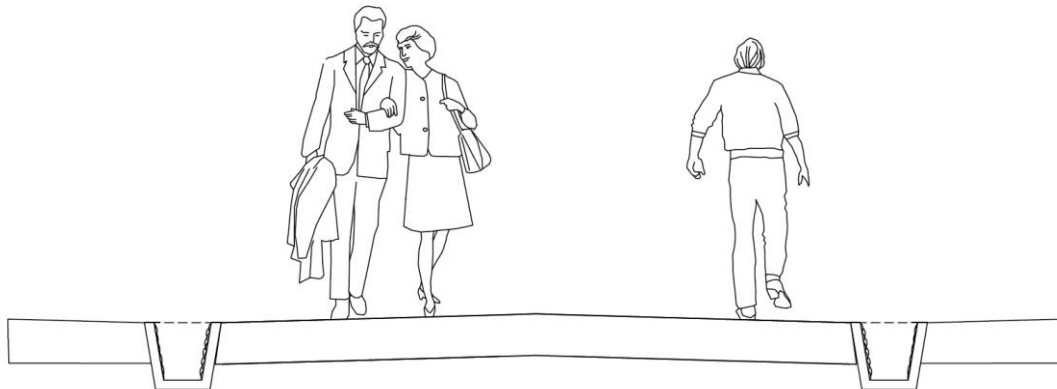
Esta tipología es de 8 metros de media, pero a diferencia de la anterior, es peatonal, lo que se propone la distribución siguiente:



Corte de calle tipología 3. Fuente: Elaboración propia

Tipología 4

Esta tipología es de 4 metros de media lo que se propone la distribución siguiente:



Corte de calle tipología 4. Fuente: Elaboración propia

4.6. Rentabilidad económica

Gracias a la página web www.maroc.prix-construction.info propiedad de CYPE Ingenieros S.A. se puede hacer una estimación de los costes.

Las obras principales a realizar son la pavimentación de las zonas peatonales más las carreteras de los coches.

Se proponen las estructuras siguientes:

Para la zona peatonal :

VPD010

m²

Revêtement de sol drainant.

Revêtement drainant pour usage piéton, de 40 mm d'épaisseur, réalisé "in situ" avec du mortier à base de résines et de granulats de couleurs sélectionnées avec granulométrie de 4/7 mm, placé sur une couche de 30 mm de matériau granulaire.

Code interne	Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire	Prix total
mt01arr010a	Grave de carrière, de 19 à 25 mm de diamètre.	0.063	t	72.82	4.59
mt47pcd010e	Revêtement drainant pour usage piéton, de 40 mm d'épaisseur, réalisé "in situ" avec du mortier à base de résines et de granulats de couleurs sélectionnées avec granulométrie de 4/7 mm, avec une résistance à la flexotraction de 2,3 N/mm ² , une résistance à compression de 4,5 N/mm ² , une capacité drainante de 800 l/(m ² ·min), et résistance au glissement supérieur à 45 selon ENV 12633.	1.000	m ²	695.87	695.87
mo041	Compagnon professionnel III/CP2 VRD espaces publics.	0.730	h	47.69	34.81
mo087	Ouvrier professionnel II/OP VRD espaces publics.	0.730	h	43.31	31.62
	Frais de chantier des unités d'ouvrage	2.000	%	766.89	15.34
Coût d'entretien décennal: 109,51Dhs les 10 premières années.				Montant total HT:	782.23

Para el resto de pavimento:

VPA030

m²

Pavage en pierre naturelle.

Pavage en pierre naturelle, en extérieur, réalisé sur une chaussée avec trafic de catégorie C4 (zones piétonnes, rues résidentielles) et catégorie de la plateforme E1 ($5 \leq \text{CBR} < 10$), composée de base souple de grave naturelle, de 20 cm d'épaisseur, avec extension et compactage au 100% du Proctor Modifié, par mise en place de souple, avec un degré de complexité de l'appareillage bas, pavés de granit Blanc Berrocal, de 8x8x5 cm, avec finition flammée dans la face visible et sciée sur les autres faces, sur une couche de sable de granulométrie comprise entre 0,5 et 5 mm, laissant entre eux un joint de séparation entre 2 et 3 mm, pour son jointoiement postérieur avec sable naturel, fin et sec, de 2 mm de taille maximale; et vibration du pavage avec une plaque vibrante à guidage manuel.

Code interne	Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire	Prix total
mt01zah010a	Grave naturelle calcaire.	0.230	t	87.21	20.06
mt01arp021c	Sable de granulométrie comprise entre 0,5 et 5 mm, ne contenant pas plus de 3% de matière organique et d'argile. Ce qui est spécifié dans NF P 18-576 concernant la friabilité et dans NF EN 1097-2 concernant la résistance à la fragmentation du sable sera pris en compte.	0.055	m³	241.74	13.30
mt18apn010aa	Pavé de granit Blanc Berrocal, 8x8x5 cm, avec finition flammée dans la face visible et sciée sur les autres faces.	1.050	m²	487.19	511.55
mt01arp020a	Sable naturel, fin et sec, de 2 mm de taille maximale, exempt de sels nuisibles, présenté en sacs.	1.000	kg	3.52	3.52
mq01mot010a	Motoniveleuse de 141 kW.	0.008	h	556.72	4.45
mq02rov010i	Compacteur monocylindrique vibrant autopropulsé, de 129 kW, de 16,2 t, largeur de travail 213,4 cm.	0.013	h	511.71	6.65
mq02cia020j	Camion citerne de 8 m³ de capacité.	0.006	h	329.21	1.98
mq02rod010a	Plaque vibrante à guidage manuel, de 170 kg, largeur de travail 50 cm, réversible.	0.330	h	34.91	11.52
mq06hor010	Bétonnière.	0.006	h	13.80	0.08
mo041	Compagnon professionnel III/CP2 VRD espaces publics.	0.304	h	47.69	14.50
mo087	Ouvrier professionnel II/OP VRD espaces publics.	0.329	h	43.31	14.25
	Frais de chantier des unités d'ouvrage	2.000	%	601.86	12.04
Coût d'entretien décennal: 30,70Dhs les 10 premières années.				Montant total HT:	613.90

Hay 44151 m² que pavimentar de zonas peatonales lo que da un total de 34'536'236.73 Dhs

Hay 100800 m² que pavimentar del resto de carreteras, lo que da un total de 61'881'120.00 Dhs

El total de pavimentación entonces es 96'417'356.73 Dhs

Comparando con un proyecto convencional que se propone en la misma zona cuyo coste total es:

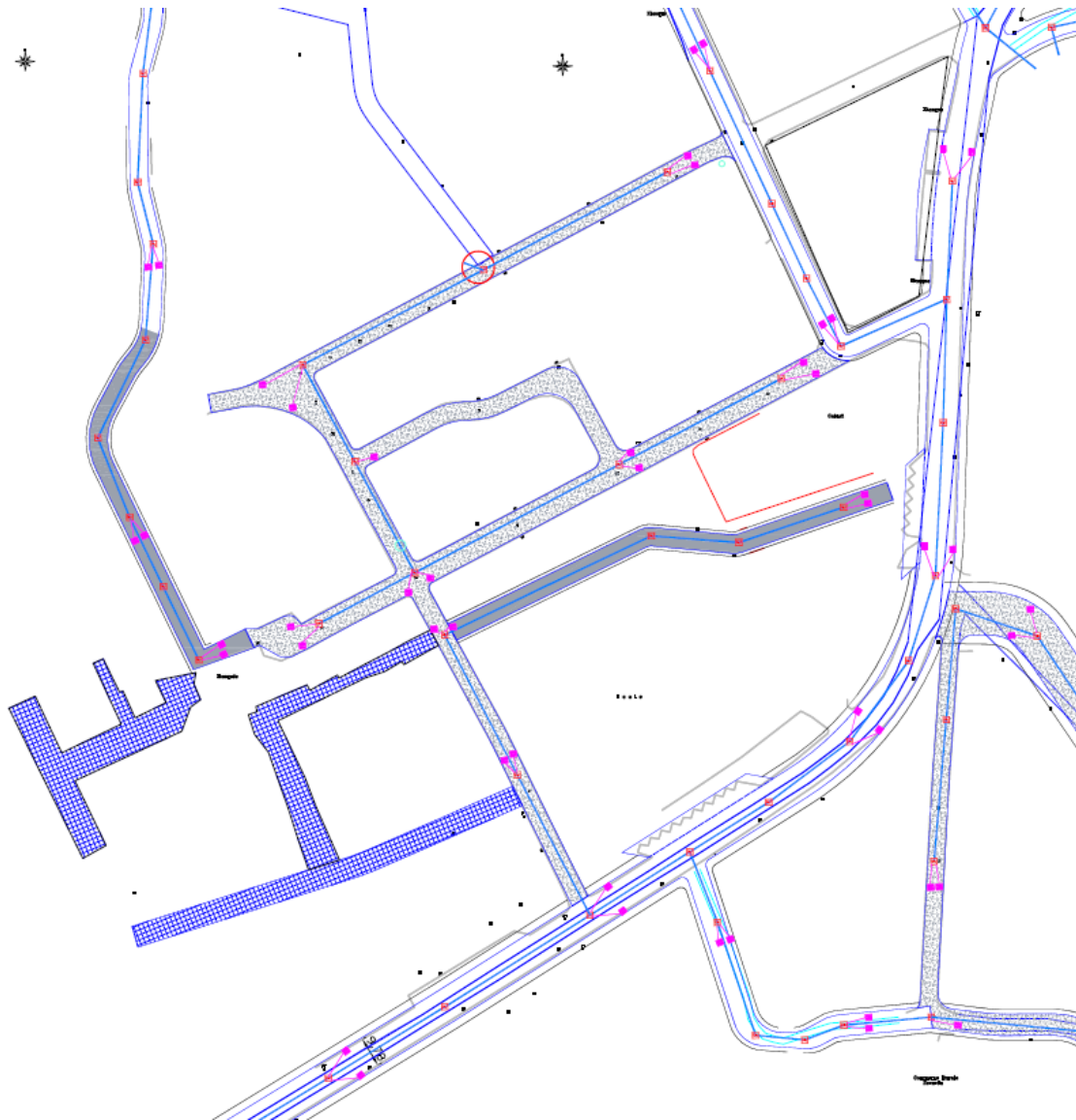
ÉTUDE, SUIVI ET PILOTAGE DES TRAVAUX DE VOIRIE
ETASSAINISSEMENT DES EAUX PLUVIALES

<u>LOT 1 : TERRASSEMENTS GENERAUX - VOIRIE</u>	
TOTAL LOT 1 T.G & VOIRIE	26,816,490.00
<u>LOT 2 : ASSAINISSEMENT EAUX PLUVIALE</u>	
TOTAL LOT 2 AEP	17,609,716.40
TOTAL GENERAL	44,426,206.40 Dhs

Estimación del proyecto convencional. Fuente: Grand Etude d'Oriental Maroc (GEOM)

Constatamos que el precio de los SuDS supera el doble del precio del proyecto convencional, sin embargo y tal como vimos a lo largo de este trabajo, la rentabilidad económica tiene que tener en cuenta no solo el precio de construcción, sino también el valor ecológico y paisajístico añadido al barrio.

Además el proyecto convencional plantea la pavimentación de solo una parte del barrio como se ve en la figura siguiente:



Proyecto convencional en la misma zona de estudio. Fuente: Grand Etude d'Oriental Maroc (GEOM)

Conclusiones

Los resultados de este trabajo concuerdan en líneas generales con un uso creciente de los sistemas SuDS que son bien percibidas y aceptadas por los ciudadanos. Incluso si las técnicas alternativas han experimentado dificultades para generalizarse, el factor moda y también los costes relacionados con el desarrollo sostenible, han alentado su uso en los últimos años, y al mismo tiempo se les promete un desarrollo futuro considerable. Se trata solo de hacer el primer paso hacia la acumulación de experiencia y el saber hacer de las empresas para su realización.

Los desarrollos que integran la gestión sostenible del agua propuestos por los investigadores responden a las expectativas y deseos de la ciudadanía. Estos ciudadanos tienen muy poco conocimiento de estas técnicas, por ello es necesario establecer el diálogo con ellos. Por ejemplo en el caso de Zerarda, se podría también intervenir sobre el espacio privado con techos verdes en caso se pueda convencer a los residentes.

Los SuDS se adaptan al sitio, lo que permite diseñar proyectos de drenaje de acuerdo con las limitaciones y el potencial del sitio. Además Las áreas desarrolladas, no solo sirven para la gestión del agua, sino también desempeñan un papel paisajístico importante.

Bibliografía

- Bensaleh, N., Sabir, M., Rosse, E., & Laouina, A. (2012). Indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion en vue d'une gestion durable des eaux et sols Bassin versant de Bouregreg, Maroc. *Presses universitaires du Septentrion*, 205-221.
- Brown, R., & Clarke, J. (2007). *Transition to Water Sensitive Urban Design: The Story of Melbourne, Australia*. MONASH University. Victoria, Australia: National Urban Water Governance Program.
- Castro-Fresno D., Andrés-Valeri C., Sañudo-Fontaneda L.A., and Rodriguez-Hernandez J. (2013). "Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements". *Water*, 5, 67-93.
- Charlesworth, S., Sanudo-Fontaneda, L., & Mays, L. (2018). *The history of sustainable drainage*. Paper presented at European Geophysical Union, Vienna, Austria.
- CIRIA. (2015). *The SuDS Manual*. London: CIRIA.
- Febles, M., Perales, S., & Soto, R. (2009). Innovación y Sostenibilidad en la gestión del drenaje urbano: Primeras experiencias de SuDS en la ciudad de Barcelona. Madrid: Jornadas de Ingeniería del Agua 2009.
- MRABET, R (2007) .Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (RPGAA) - Royaume du Maroc - Scientific Figure on ResearchGate
- Nisenon, L. (2006). Using Smart Growth Technoques as Stormwater Best Management Practices. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency.
- Perales, S., & Andrés-Doménech, I. (2007). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Revista Técnica de Medio Ambiente RETEMA.C&M Publicaciones*, XXI(124), 92-104.

Poleto, C. (2011). SUDS, Uma contextualização histórica. *Revista Thema*, 8(01), 1-12.

Revitt, M., Ellis, B., & L., S. (2003). Report 5.1. Review of the use of stormwater BMPs in Europe. (M. University, Ed.) Daywater.

TDAG (2014) *Trees in hard landscapes: a guide for delivery*, Trees and Design Action Group, UK.

WOODS BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; MARTIN, P.; JEFFERIES, C.;

BRAY, R. y SHAFFER, P. (2007): “*The SDSU manual*” (CIRIA C697). Edita: CIRIA. ISBN-13: 978-0-86017-697-8.